



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Möglichkeiten und Grenzen von 3D-Dokumentation
archäologischer Funde und Befunde anhand von
Beispielen aus Hallstatt - Bronzezeitlicher Bergbau und
latènezeitliche Bergbausiedlung Dammwiese“

verfasst von / submitted by

Gerald Raab, BA

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Arts (MA)

Wien, 2019 / Vienna 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 801

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Urgeschichte und historische Archäologie

Betreut von / Supervisor:

Mag. Dr. Peter Ramschl, Privatdoz.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit möchte ich meinen Eltern und Aenna Linzbauer widmen.

Dieses Projekt war nicht ohne die Unterstützung vieler Kollegen und Freunde umsetzbar.

Ich danke euch dafür.

Ich danke meinem Betreuer Peter Ramschl für die Unterstützung und die Geduld während des gesamten Entstehungsprozesses.

Ein großer Dank gilt auch dem gesamten Team der prähistorischen Abteilung des NHM Wien. Ohne die jahrelange Begleitung und Unterstützung wäre diese Arbeit nicht entstanden.

Danke an Anton Kern und Johann Rudorfer, beide ermutigten mich immer wieder, diese Arbeit fertig zu stellen.

Ein großer Dank geht auch an Julia Klammer und Daniel Brandner für die Hilfe im Bergwerk und die allgemeine Unterstützung.

Ich danke auch Fritz Eckart Barth für die langen Diskussionen und die hervorragende Verpflegung.

Danke auch an Hans Reschreiter für die Unterstützung im Museum und die jahrelange Zusammenarbeit im Bergwerk.

Vielen Dank auch an die Teams der Grabungen von Hallstatt der Jahre 2011-2019. Allen voran Andreas Rausch, Christian Seisenbacher, Thomas Ragger und Fiona Poppenwimmer. Danke auch an Wolfgang Börner und Kerstin Kowarik für die Diskussionen zum Thema.

Zusätzlich ist noch der Salinen Austria AG und den Salzwelten für die jahrelange Unterstützung zu danken.

Gedankt sei auch den österreichischen Bundesforsten für die Möglichkeit der UAV-Befliegungen auf der Dammwiese.

Meinen Kollegen und Freunden Ronny Weßling und Roman Skomorowski von Crazy Eye und Reinhold Fragner von Industrial Motion Art möchte ich besonders danken. Ohne eure Unterstützung und Hilfe wäre diese Arbeit nicht entstanden.

Der größte Dank gilt aber Aenna Linzbauer für die starke Begleitung an meiner Seite. Auch für die andauernde Unterstützung in schwierigen Zeiten der Entstehung. Ohne dich wäre dieses Projekt nie fertig geworden.

Danke auch an alle meine Freunde und Kollegen die ich hier nicht namentlich erwähne oder vergessen habe.

Danke Leopold.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Forschungsfragen	1
1.2	Terminologie	3
1.3	Allgemeine Anmerkungen	7
2	Überblick der bearbeiteten Fundstellen	8
2.1	Bronzezeit - Christian-von-Tusch-Werk	8
2.1.1	Beschreibung der Fundstelle	8
2.1.2	Abbautechniken der Bronzezeit	11
2.2	Latènezeit - Dammwiese	13
2.2.1	Beschreibung der Fundstelle	13
2.2.2	Einblick Bergbau Westgruppe	24
2.2.3	Vergleichssiedlung Ramsautal, Dürrenberg	25
2.2.4	Die Salinenfrage - Vergleich zu Befunden aus Bad Nauheim	28
3	Methodik	30
3.1	3D-Dokumentation	30
3.1.1	3D-Scan	31
3.1.2	Bildbasierte 3D-Modellierung (IBM)	35
3.1.3	Stereo- oder Tiefenkameras	39
3.2	Virtuelle Archäologie	43
3.2.1	3D-Rekonstruktion und Visualisierung	43
3.2.2	Die Londoner Charta	46
3.2.3	Animation und Interaktive Anwendungen (VR, AR, MR) .	47
4	Fallstudien zur Methodik am Beispiel Hallstatt	56
4.1	Überblick zur archäologischen Dokumentation	56
4.2	Fallstudie 01: Bergwerk, 3D-Modell Christian-von-Tusch-Werk . .	60
4.3	Fallstudie 02: Bergwerk, Test Tiefenkamera	73
4.4	Fallstudie 03: Bergwerk, 360-Grad Aufnahmen	79
4.5	Fallstudie 04: Bergwerk und Hochtal, Animationen	82
4.6	Fallstudie 05: Hochtal, UAV Gelände Prospektion	88
4.7	Fallstudie 06: Hochtal, Augmented Reality Poster	97
4.8	Fallstudie 07: Dammwiese, Auswertung und Interpretation	104
4.9	Fallstudie 08: Dammwiese, 3D-Keramikfunde	118

4.10	Fallstudie 09: Dammwiese, 3D-Rekonstruktion und Virtual Reality	124
------	---	-----

5	Schluss	130
5.1	Zusammenfassung	130
5.1.1	Zusammenfassung und Fazit	130
5.1.2	Summary and Conclusio	136
5.1.3	Deutsche Kurzzusammenfassung	141
5.1.4	English Abstract	142
5.2	Anhang	143
5.2.1	Abbildungsverzeichnis	143
5.2.2	Linkverzeichnis	151
5.2.3	Literaturverzeichnis	158
5.2.4	Eidesstattliche Erklärung	174
5.2.5	Katalog und Tafeln	174

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
Abb	Abbildung
ALS	Airborne Laserscanning
AR	Augmented Reality
bzw	beziehungsweise
CHNT	Cultural Heritage New Technologies
CNC	computer numerical control
CUDA	Compute Unified Device Architecture
CVRO	Cultural Virtual Reality Organisation
DEM	Digital Elevation Model
DGUF	Deutsche Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte
DORIS	Digitales Oberösterreichisches Raum-Informationssystem
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
DXF	Drawing Exchange Format
EKF	Extended Kalman Filter
etc	et cetera
EXIF	Exchangeable Image File Format
GesmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GIS	Geographisches Informationssystem
GK	Gauß-Krüger
GLONASS	Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema
GPS	Global Positioning System
HD	High Definition
IBM	Image based modeling
IMA	Industrial Motion Art
INS/IMU	inertiales Navigationssystem
Jh	Jahrhundert
JPG	Joint Photographic Experts Group
js	JavaScript
LCD	liquid-crystal display
LiDAR	light detection and ranging
LiPo	Lithium polymer battery
LRM	low-relief model
Lt	Latènezeit
MGI	Militärgeographisches Institut
MR	Mixed Reality
MVS	Multi View Stereo
NHM	Naturhistorisches Museum
ÖBF	Österreichische Bundesforste

ÖFD	Österreichischen Forschungszentrums Dürrenberg
PA	Prähistorische Abteilung
QR	Quick Response
RAW	raw image file
RGB-D	Red, Green, Blue, Depth
RTK	Real-Time-Kinetic
SfM	Structure from motion
Shp	Shapefile
SIFT	scale invariant feature transform
SLAM	simultaneous localization and mapping
TLS	Terrestrisches Laserscanning
TMFS	Terra Mater Factual Studios
ToF	Time of Flight
UAV	unmanned aerial vehicle
UDK	Unreal Development Kit
UHA	Urgeschichte und historische Archäologie
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organi- zation
USB	Universal Serial Bus
n. Chr.	nach Christus
v. Chr.	vor Christus
VASIG	Virtual Archaeology Special Interest Group
VMS	Verband der Museen der Schweiz
VR	Virtual Reality
z.B.....	zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Forschungsfragen

Welche Formen der 3D-Dokumentation werden aktuell in der archäologischen Forschung angewandt?

Es soll ein Überblick über Methoden geschaffen werden.

Wo liegen die Vor- und Nachteile in den Bereichen Montan- und Siedlungsarchäologie?

Diese Arbeit präsentiert primär Fallstudien aus den Bereichen prähistorischer Bergbau und spezialisierten Gewerbesiedlungen.

Wie können Museen die produzierten 3D-Daten gezielt nutzen und einsetzen?

Aufgrund der Zusammenarbeit mit dem NHM Wien ist dieser Bereich wichtig.

Wen nützt die multimediale Verarbeitung von archäologischen 3D-Daten? Wie können 3D-Modelle sinnvoll in Vermittlung, Lehre und Visualisierung angewendet werden? Wie können 3D-Rekonstruktionen und der Einsatz von Animationen dazu beitragen?

Die Antworten auf diese Fragen waren das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit.

Wo liegen die Möglichkeiten und Grenzen von aktuellen Augmented- und Virtual-Reality Anwendungen in den Bereichen Kulturvermittlung und Archäologie?

Diese mächtigen Werkzeuge werden archäologische Präsentation und Interpretation von Grund auf verändern.

Anhand von zwei ausgewählten Fundstellen des Gebiets Hallstatt Salzberg, Oberösterreich sollen diese Fragestellungen beantwortet werden.

Vor Beginn der Arbeiten wurden 2014 folgende Konzepte erstellt:

Christian-von-Tusch-Werk, Alter Grubenoffen

Im Zuge dieser Arbeit, soll ein Überblick zu den bisher angewandten Dokumentationsarten der archäologischen Untersuchungen von Hallstatt geschaffen werden.

Im Anschluss erfolgt die Analyse der Vor- und Nachteile ausgewählter archäologischer Dokumentationsmethoden.

Ziel des Teilprojekts ist mittels *Image-Based-Modeling* Technologien (IBM) ein 3D-Gesamtmodell aller Vortriebe im Christian-von-Tusch-Werk zu erhalten.

Das Ergebnis soll zukünftige Befundinterpretationen und -diskussionen, als auch den Überblick über die gesamten archäologischen Forschungsstollen erleichtern.

Aus dem maßstabsgetreuen 3D-Modell sollen für alle Detailbereiche Exporte ermöglicht werden (*Westend*, *Nordvortrieb*, etc.).

Das Modell wird mit vorhandenen und neu gesetzten Messpunkten georeferenziert. In Folge sollen testweise Rasterdaten, wie z.B. digitale Höhenmodelle und Orthofotos, exportiert werden.

Ab dem Bereich des rezenten Stolleneingangs wird mittels ToF- oder Stereokamera ein „Anschlussmodell“ entstehen.

Das 3D-Modell des Christian-von-Tusch-Werk wird öffentlichkeitswirksam aufbereitet. Es sollen Animationen, interaktive Anwendungen und Augmented Reality Beispiele entstehen. Es dient als Grundlage für virtuelle Anwendung, wie Filme, Spiele, mobile Applikationen, etc.

Einige dieser Anwendungen werden schon im Zuge dieser Arbeit erstellt und präsentiert.

Dammwiese

Auf der latènezeitlichen Industriesiedlung Dammwiese (ca. 1350 m) wurden von 1887 - 1890 und von 1936 – 1937 archäologische Ausgrabungen durchgeführt. Eines der Ziele dieser Arbeit ist die Aufarbeitung der Quellen die für eine 3D-Rekonstruktion bzw. Visualisierung wichtig sind. Dazu dienen mitunter Pläne und Aquarelle der Altgrabungen, schriftliche Quellen etc..¹

Durch mehrere UAV-Prospektionen sollen hochauflösende 3D-Landschaftsmodelle der Dammwiese erstellt werden. Die exportierten Rasterdaten sollen bei der Lokalisierung und Referenzierung der Altgrabungen behilflich sein. Auch in diesem Fall ist die angewandte Methode zur 3D-Dokumentation Image-Based-Modeling.

Die gesamten Daten werden in einem eigens dafür erstellten GIS-Projekt „Dammwiese“ verarbeitet und interpretiert. Die Geodatenbank soll auch als Grundlage für zukünftige archäologische Tätigkeiten auf der Dammwiese dienen. Mit den referenzierten Plänen wird versucht, die Situation auf der Dammwiese um 1890 so exakt wie möglich in einer 3D-Rekonstruktion darzustellen. Dazu werden alle Profilzeichnungen und Aquarelle in der 3D-Software *Blender* umzeichnet und texturiert. Im letzten Schritt wird die Grabungsfläche in das erstellte 3D-Landschaftsmodell integriert.

In dieser Masterarbeit soll ein virtueller Rundgang über die Ausgrabungsfläche des späten 19. Jahrhunderts so exakt wie möglich erstellt werden. Durch die räumliche Rekonstruktion werden archäologische Befundinterpretationen auch virtuell nach über 120 Jahren möglich.

An ausgewählten Fundstücken wird ein Objektskan durchgeführt. Ziel ist eine digitale 1:1 Kopie der Funde, dadurch werden neue Zugänge zur Dokumentation, Archivierung und Vermittlung ermöglicht.

¹ MORTON 1953, 99-103.

1.2 Terminologie

Augmented Reality

„Bezeichnet eine computerunterstützte Wahrnehmung bzw. Darstellung, welche die reale Welt um virtuelle Aspekte erweitert.“² Der ganze Prozess des Sehens und dem Auftauchen der virtuellen Inhalte läuft dabei zeitgleich ab.³

Blender

Bei *Blender* handelt es sich um eine frei erhältliche 3D Software. Mittlerweile in Version 2.8 ist *Blender* eines der mächtigsten Programme im Bereich der 3D-Modellierung, Konstruktion, Rendering und Animation. Ursprünglich wurde das Programm in den 1990ern kommerziell für die Animationsfirma von Ton Roosendaal entwickelt. Ab dem Jahr 2002 entstand daraus die *Blender Foundation* eine Non-Profit-Organisation.⁴

CloudCompare

„CloudCompare ist eine Software zum Bearbeiten und Verarbeiten von 3D-Punktwolken und Meshes.“⁵

Computeranimation

„Bezeichnet eine durch Computer erzeugte Darstellung mehrdimensionaler bewegter Bilder auf einem Bildschirm.“⁶

Computervision

Computervision wird auch als maschinelles Sehen bezeichnet. Es beschreibt Algorithmen und Methoden die Maschinen erlauben, ihre Umgebung zu sehen, wahrzunehmen und zu erkennen.⁷

Gamification

„Ist die Übertragung von spieltypischen Elementen und Vorgängen in spielfremde Zusammenhänge mit dem Ziel der Verhaltensänderung.“⁸

Verschiedene Bausteine aus der Spielentwicklung werden in anderen Kontexten angewendet.⁹

² MARKGRAF 2018 (letzter Zugriff 27.08.2019).

³ MANN ET AL. 2018, 1-2.

⁴ ZHI ENG 2015, 16.

⁵ CLOUDCOMPARE 2019 (letzter Zugriff 10.09.2019).

⁶ DUDEN 2019a (letzter Zugriff 03.09.2019).

⁷ HUANG 1996 (letzter Zugriff 27.09.2019); Siehe auch: SZELISKI 2010, 11.

⁸ BENDEL 2019a (letzter Zugriff 30.08.2019).

⁹ ROGGER 2016, 14.

Image Based Modeling oder Structure from Motion

Structure-from-Motion (SfM) ist ein Teil bzw. Algorithmus im Image-Based-Modeling Prozess (IBM)¹⁰.

Es wurde ursprünglich für eine schnelle, kostengünstige und 3D-Vermessung von Gebäuden oder kleineren Objekten entwickelt und ist eine rein bildbasierte Methode.

Ähnlich wie bei der herkömmlichen Fotogrammetrie verwendet SfM mehrere Bilder, die aus verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen werden, um die dreidimensionale Geometrie bzw. Oberfläche eines Objekts wiederzugeben.

Das Verfahren stammt ursprünglich aus dem Bereich des automatisierten Bildabgleichs oder dem maschinellen Sehen.¹¹

Die Basis hinter den Softwarepaketen bilden diverse Algorithmen.

Immersion

Bezeichnet „das Eintauchen in eine virtuelle Umgebung“.¹²

Das Betreten und vollkommene Einlassen auf einen virtuellen Raum. Es soll eine simulierte Wirklichkeit entstehen.¹³

Interaktivität

Wird als die Fähigkeit eines Systems verstanden, mit dem Anwender zu interagieren bzw. auch umgekehrt zu reagieren.¹⁴

Mixed Reality

Mixed Reality (MR) ist als eine Umgebung zu definieren, in der reale und virtuelle Objekte zusammen in einer einzigen Anzeige dargestellt werden.¹⁵

Mixed Reality ist eine Mischung aus AR und VR. Es erfolgen Wechsel zwischen realer und virtueller Welt in verschiedenen Proportionen entlang einer *Virtualitätsachse*.¹⁶

Punktwolke

„ Die Punktwolke (point cloud) ist definiert als eine Menge von Punkten in einem Vektorraum, mit einer unorganisierten räumlichen Struktur oder Wolke.“¹⁷

Alle Punkte sind durch Raumkoordinaten erfasst (X,Y,Z).

Die Punktwolken können auch geografische Koordinaten bzw. georeferenziert werden.

¹⁰ VERHOEVEN 2016, 5.

¹¹ FONSTAD ET AL. 2012, 421.

¹² DUDEN 2019b (letzter Zugriff 02.09.2019).

¹³ LEHMANN 2008, 18.

¹⁴ HOEFLICH 2013, 131.

¹⁵ MILGRAM ET AL. 1994, 283.

¹⁶ MANN ET AL. 2018, 1-2.

¹⁷ OTEPKA ET AL. 2013, 1038-1039.

Rekonstruktion

„Das Rekonstruieren bezeichnet das Wiederherstellen, Nachbilden des ursprünglichen Zustandes von etwas.“¹⁸

Rendering

„Bezeichnet die Vorausberechnung, zum Beispiel von zu entwickelnden Produkten, am Computer in Gestalt einer wirklichkeitsnahen dreidimensionalen virtuellen Darstellung“¹⁹

SLAM

Beim *simultaneous localization and mapping* - SLAM handelt es sich um eine Kombination aus verschiedenen Algorithmen der Robotik.

Da unsere Umgebung aus vielen Objekten mit einfachen geometrischen Formen besteht, kann diese als Referenz für eine Maschine zur gleichzeitigen, visuellen Lokalisierung und Kartierung dienen (SLAM-Systeme).²⁰

ToF- und Stereokamera

Eine Stereokamera besitzt zwei gleiche Objektive in Augenabstand zur Aufnahme von Teilbildern zur Raumentiefenmessung.

Eine ToF- oder Tiefenkamera „ist ein optisches Bildsystem, das hochaufgelöste 3D-Bilddaten in Echtzeit bietet. Sie basiert auf dem time-of-flight-Prinzip und arbeitet mit einer modulierten Infrarot-Lichtquelle.“ Das Gerät ist mit einem Lichtsender und -empfänger ausgestattet.²¹

Unity Engine

Unity ist eine Entwicklungsumgebung für die Erstellung von Spielen, interaktiven Anwendungen und auch Animationen. Es ist eine Entwicklung des Unternehmens Unity Technologies.²²

Die aktuelle Version ist Unity 2019.1.²³

Unreal Engine

Es handelt sich um eine Spiel-Engine der Firma Epic Games, die zur Erstellung von Inhalten auf diversen Plattformen wie z.B. von Computer-, Mobil- und Konsolenspielen eingesetzt wird.²⁴ „Anders als die Vorgängerversionen ist die Unreal Engine 4 als eine Entwicklungsumgebung konzipiert die in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt werden kann“ (z.B. Simulationen, VR/AR, Computerspielen etc.).²⁵

¹⁸ DUDEN 2019c (letzter Zugriff 03.09.2019).

¹⁹ DUDEN 2019d (letzter Zugriff 03.09.2019).

²⁰ MA ET AL. 2016, 643-651.

²¹ BREUER 2005, 3.

²² GORA, LEIBETSEDER 2016, 1-2, Siehe auch: UNITY3D 2019 (letzter Zugriff 28.09.2019).

²³ KROGH-JACOBSEN 2019 (letzter Zugriff 28.09.2019).

²⁴ EPIC UNREAL ENGINE 2019 (letzter Zugriff 28.09.2019).

²⁵ GORA, LEIBETSEDER 2016, 1-2.

Virtual Reality

Virtuelle Realität „beschreibt eine computergenerierte Wirklichkeit mit Bild (3D) und in vielen Fällen auch Ton.“²⁶

„Die gängige Beschreibung einer VR-Umgebung ist eine, in der der Beobachter vollständig in eine künstliche Welt eintaucht, die Eigenschaften einer real existierenden oder fiktiven Umgebung nachahmt. Diese Welt soll jedoch auch die Grenzen der physischen Realität übersteigen, durch Schaffung einer Umgebung, in der die physikalischen Gesetze für Schwerkraft, Zeit und Materialeigenschaften nicht mehr gelten.“²⁷

„Virtual Reality ersetzt die reale Welt durch eine simulierte Erfahrung.“²⁸

Der Inhalt wird meist durch einen Bildschirm, der auf dem Kopf getragen wird, bzw. eine VR-Brille wiedergegeben.

²⁶ BENDEL 2019b (letzter Zugriff 27.08.2019).

²⁷ MILGRAM ET AL. 1994, 283.

²⁸ MANN ET AL. 2018, 1-2.

1.3 Allgemeine Anmerkungen

Diese Arbeit wurde in enger Zusammenarbeit mit Partnern der prähistorischen Abteilung des Naturhistorischen Museum Wien, der Salinen Austria AG und der Salzwelten GmbH realisiert.

Die Befliegungen auf der Dammwiese mittels UAV wurden mit der Genehmigung und Unterstützung der Österreichischen Bundesforste (ÖBF) umgesetzt.

Die Bearbeitung der Fundstelle Dammwiese wurde vom NHM Wien, dem Museum Hallstatt und dem oberösterreichischen Landesarchiv unterstützt.

Die Erstellung der Rohdaten von 2014-2017 wurden teilweise durch Mittel des NHM Wien und dem Interregg Projekt VirtualArch-Hallstatt finanziert.

Alle in dieser Arbeit vorliegenden 3D-Modelle, Animationen, Applikationen, Raster- und Vektordaten wurden, wenn nicht anders angegeben, vom Autor selbst erstellt.

Wenn nicht direkt unter dem Bild angegeben, wurden alle Abbildungen und Grafiken vom Autor selbst erstellt.

Für diese Arbeit wurde eine neutrale oder maskuline Form gewählt. Es stellt keine Benachteiligung oder Bevorzugung biologischer oder sozialer Geschlechter dar.

Alle Übersetzungen, wenn nicht anders angegeben, stammen vom Autor.

Fehler und Druckfehler sind vorbehalten.

2 Überblick der bearbeiteten Fundstellen



Abbildung 1: Die archäologischen Forschungsvortriebe im Christian-von-Tusch-Werk, alter Grubenoffen (Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert)

2.1 Bronzezeit - Christian-von-Tusch-Werk

2.1.1 Beschreibung der Fundstelle

Ab der Mittelbronzezeit um 1500 v. Chr. ist der Abbau von Salz unter Tage in Hallstatt nachgewiesen.²⁹ Da es sich in dieser Zeit schon um einen voll entwickelten Bergbaubetrieb handelte, werden die Anfänge ab der Frühbronzezeit angenommen. Die ältesten Funde, die dem Kontext Bergbau zugeordnet werden, stammen aus dem Neolithikum. Die Fundstellen der Bronzezeit werden unter dem Sammelbegriff Nordgruppenrevier

²⁹ RESCHREITER, KOWARIK 2015, 289.

vereint³⁰. Das Christian-von-Tusch-Werk, Alter Grubenofen ist im 18. Jahrhundert angefahren worden (Siehe Abb. 1).³¹

Durch Recherchearbeiten der Salinenakten im Oberösterreichischen Landesarchiv Linz ist es 1990/1991 wieder ins Blickfeld der Forschung gerückt.³² Ab dem Jahr 1992 hat man mit der archäologischen Untersuchung des Werks begonnen³³ Die Fundstelle ist bis heute das Hauptgebiet der Forschungen unter Tage.³⁴

Es gibt allerdings große Unterschiede im Vergleich zu den übrigen Fundstellen der bronzezeitlichen Nordgruppe. Das Tuschwerk befindet sich im Revier der hallstattzeitlichen Ostgruppe, ist aber eindeutig in die Bronzezeit zu datieren.³⁵ Durch diese Differenzierung ist das Christian-von-Tusch-Werk im Fokus der modernen Bergbauforschung.³⁶ Die Datierung und Lage kann vielleicht die Verbindung zwischen den Abbauen der Nord- und Ostgruppe bilden.³⁷

Ein weiterer positiver Punkt ist der Umstand, dass die Fundstelle zu einem großen Teil ungestört durch jüngere Bergbaue ist.³⁸ Auch in den Schichten des prähistorischen Industrieabfalls sind laut ersten mikromorphologischen Untersuchungen wenig bis keine Umlagerungen passiert.³⁹ Ein Teil des Befundes ist das untere Ende eines Schachts mit im Verfüllmaterial eingeschlossenen Holzeinbauten.⁴⁰ Der Fund eines Lindenbastseils, mit einer Traglast von bis zu einer Tonne, ist ein weiteres Indiz, dass von diesem Ort aus Salz an die Oberfläche geschafft wurde.⁴¹

Die Anzahl der Funde ist in diesem Bereich allgemein sehr hoch.⁴² Stark verdichtet befindet sich das Fundmaterial eingebettet in dünnen Schichten aus Salz, Russ und Ton.⁴³ Die Ablagerungen werden als *Heidengebirge* bezeichnet. Es definiert alle im Salzbergwerk auftretenden Schichten mit Einschlüssen menschlicher Hinterlassenschaften.⁴⁴ Ein Großteil des Fundmaterials sind Leuchtpäne, vorwiegend aus Tannen oder manchmal auch aus Fichtenholz. Aus diesen beiden Holzarten sind ca. 80 % des gesamten Grubenholzes gefertigt.⁴⁵

Eines der herausragendsten Objekte aus dem Christian-von-Tusch-Werk wurde 2003 entdeckt. Es handelt sich um eine vollständig erhaltene und in situ gelegene Holzstiege aus der Nutzungsphase des bronzezeitlichen Bergbaus. Sie befindet sich in ca. 100 m

³⁰ RESCHREITER, KOWARIK 2008a, 50.

³¹ RUSS-POPA 2011, 19-20.

³² BARTH, LOBISSER 2002, 18.

³³ BARTH 1998, 123-128.

³⁴ KOWARIK 2016, 24.

³⁵ BARTH 1993, 27-38; BARTH 1998, 123-128.

³⁶ KOWARIK 2016, 24.

³⁷ RUSS-POPA 2011, 20; BARTH, LOBISSER 2002, 18.

³⁸ KOWARIK 2016, 24.

³⁹ RESCHREITER, KOWARIK 2015, 292; Siehe auch: SCHNEIDHOFER 2011.

⁴⁰ BARTH 1993, 27-38.

⁴¹ RUSS-POPA 2011, 20.

⁴² KOWARIK 2016, 24.

⁴³ RUSS-POPA 2011, 20.

⁴⁴ BARTH 1987, 207; Siehe auch: RESCHREITER, KOWARIK 2015, 290.

⁴⁵ GRABNER ET AL. 2015, 298.

Tiefe ist 1,60 m breit und 8 m lang.⁴⁶ Die Stiege liegt direkt auf dem Heidengebirge, das heißt dem Betriebsabfall der prähistorischen Bergleute und diente zur Überwindung eines Abfallhaufens. Die enorme Auftrittsbreite von 1,20 m spricht für einen Gegenverkehrsbetrieb und den Transport schwerer Lasten. Die in der Konstruktion verwendeten Hölzer stammen von Tanne, Fichte und Rotbuche.⁴⁷ Alle vorhandenen Bauelemente datieren zwischen 1344 und 1343 v. Chr.⁴⁸

Im Groben besteht die Schichtabfolge im Christian von Tusch Werk aus dem anstehenden Salzstock, dem darüber liegenden Heidengebirge und darauf liegenden Tagmaterial. Diese Schicht befindet sich direkt über der Stiege und weist auch auf das Ende des Abbaus hin. Wie der Name verrät, gelangte dieses Material von der Oberfläche durch Massenbewegungen in die Grube. Es besteht aus Ton, Humus und Kalksteinen, vermischt mit Wurzelstöcken und ganzen Bäumen.⁴⁹ Beim Eintritt in die Grube wurden auch alle Einbauten des Schachts mit diesem Material in die Tiefe gerissen. Wie beispielsweise Auftritte von kleineren bzw. schmaleren Stiegen, die einen Teil der Schachteinbauten bildeten (Siehe Abb. 2).⁵⁰

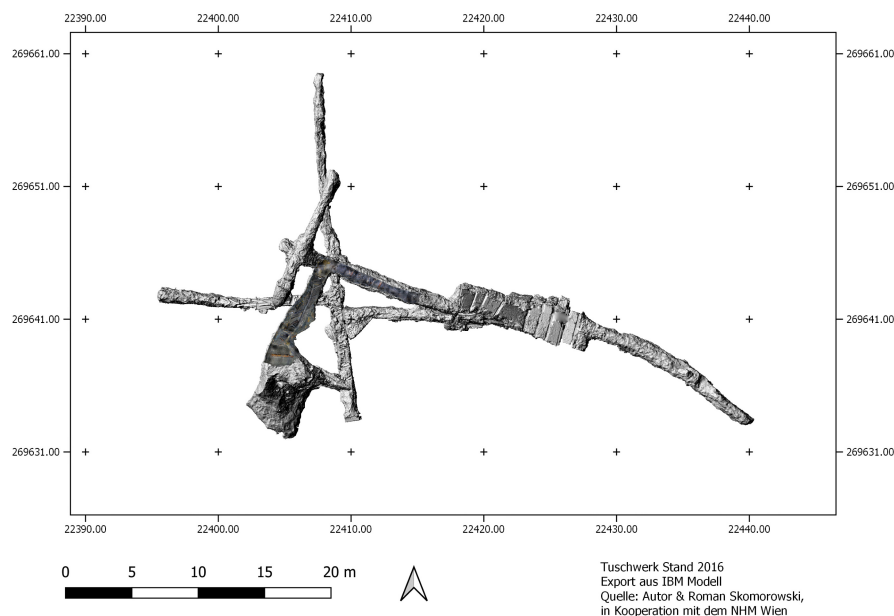


Abbildung 2: Im westlichen Bereich wurde das Modell geöffnet und gibt den Blick auf verstürzte Schachthölzer frei. (Quelle: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

⁴⁶ RESCHREITER, KOWARIK 2008a, 61-62.

⁴⁷ RESCHREITER, BARTH 2005, 28-31.

⁴⁸ GRABNER ET AL. 2006, 54-55.

⁴⁹ EHRET 2008, 68.

Das Christian-von-Tusch-Werk wurde um 1200 v. Chr. von einer massiven Hangrutschung verfüllt. Die Methoden der Datierung durch Dendrochronologie zeigen, dass das älteste Holzobjekt 1458 v. Chr. datiert und das jüngste 1245 v. Chr..⁵¹ Insgesamt wurden zur Erstellung einer Dendrochronologiekurve 572 Proben von Grubenhölzern entnommen.⁵² Die genauen Umstände zum Ende des prähistorischen Abbaus im Christian-von-Tusch-Werk sind noch immer aktuelle Fragestellungen der wissenschaftlichen Forschung.⁵³ Der Abbau der älteren Eisenzeit kann ab dem 9. Jh. v. Chr. wieder nachgewiesen werden.⁵⁴

2.1.2 Abbautechniken der Bronzezeit

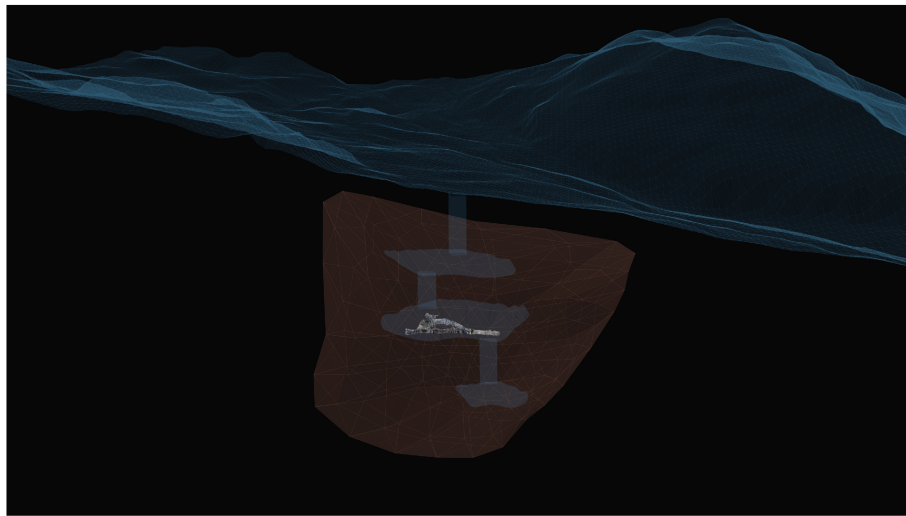


Abbildung 3: Schematische Darstellung der bronzzeitlichen Abbauhallen (Quelle: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

An der heutigen Oberfläche sind keine bronzzeitlichen Stollen erfasst. Wie auch im neuzeitlichen Bergbau sind diese Zugänge wahrscheinlich horizontal angelegt worden. Das hat den Vorteil, dass Wasser und andere Materialien von der Oberfläche schwer in die Grube eindringen können. Die Deckschicht aus Lehm wird dann durch große, vertikale Förderschächte durchbrochen.⁵⁵ Sind die salzführenden Schichten erreicht, wird dieser Bereich hallenförmig verfolgt und abgebaut.

⁵⁰ RESCHREITER, KOWARIK 2008a, 62.

⁵¹ GRABNER ET AL. 2006, 54-55; 2007, 65-66.

⁵² GRABNER ET AL. 2015, 298-299.

⁵³ RUSS-POPA 2011, 17.

⁵⁴ RUSS-POPA 2011, 12; Siehe auch: EHRET 2008, 66.

⁵⁵ RUSS-POPA 2011, 16.

Diese Hallen haben, wie z.B. im Christian von Tusch Werk enorme Ausmaße von über 30 m Durchmesser. Sind die Ressourcen fast vollständig aufgebraucht, wird ein neuer Schacht in die Tiefe getrieben, bis man erneut auf Steinsalz stößt. Siehe Abbildung 03. Durch diese Schächte gelangten nicht nur Salz und Menschen wieder an die Oberfläche, sie hatten auch die Funktionen der Bewetterung und des Materialtransportes von Grubenholz. Dafür waren große Hohlräume wichtig und die Schächte dementsprechend ausgeführt.⁵⁶ Das Salz wird mittels Bronzepickeln mit langem dünnem Stiel gebrochen. Der Rohstoff ist in der Bronzezeit in kleinen Stücken gewonnen worden, deshalb spricht man von "Hauklein". Mit großer Sicherheit waren im prähistorischen Bergbau bei der Produktion und im Transport alle Altersgruppen beteiligt (Männer, Frauen und Kinder).⁵⁷ Zur Beleuchtung dienten Leuchtpäne, welche zu 90 Prozent aus Tannenholz gefertigt waren und eine Ursprungslänge von ungefähr 1 m aufwiesen.⁵⁸ Sie wurden in der Hand oder mit dem Mund gehalten werden und konnten auch in das umgebende Material gesteckt werden.⁵⁹ Das klein gehauene Salz wurde mittels Holzschaukeln und -kratzen in Tröge gefüllt und danach in Lederrucksäcken zum Hauptschacht transportiert. Dort wurde das Salz auf Wolldecken gefüllt und mit dem Transportseil in die nächste Abbauhalle bzw. an die Oberfläche gebracht.⁶⁰

⁵⁶ RESCHREITER, KOWARIK 2008a, 50-53.

⁵⁷ RESCHREITER, KOWARIK 2015, 289-295.

⁵⁸ GRABNER ET AL. 2015, 300.

⁵⁹ RESCHREITER, KOWARIK 2008a, 58-59.

⁶⁰ RESCHREITER, KOWARIK 2015, 292-293.

2.2 Latènezeit - Dammwiese

2.2.1 Beschreibung der Fundstelle

In einer Höhe von 1357 m befindet sich westlich des Hochtals ein Hochmoor, das als *Frey-* oder Dammwiese bezeichnet wird.⁶¹ Der Bereich liegt ca. 400-500 m über dem rezenten Bergbau, verläuft Richtung Ost/West und ist nördlich durch den Fuß des Feuer- oder wilden Lahngangkogels (Plassenstock) und südlich vom Sollinger- und Sommeraukogel begrenzt.⁶²

Bei Drainagierungen im Jahre 1886 wurden erstmals prähistorische Strukturen entdeckt. Aus den darauf folgenden Jahren (1887-1890) stammen die ersten großflächigen Ausgrabungen.⁶³ Die Feldkampagnen 1887-1889 wurden durch das NHM Wien und jene von 1889-1890 durch das Hallstätter Ortsmuseum durchgeführt. Die Angaben über die insgesamt ausgegrabenen Flächen schwanken zwischen 2000-3000 Quadratmetern und das Volumen der bewegten Erde wird auf 2360 Kubikmeter geschätzt (Siehe Abb. 4).⁶⁴

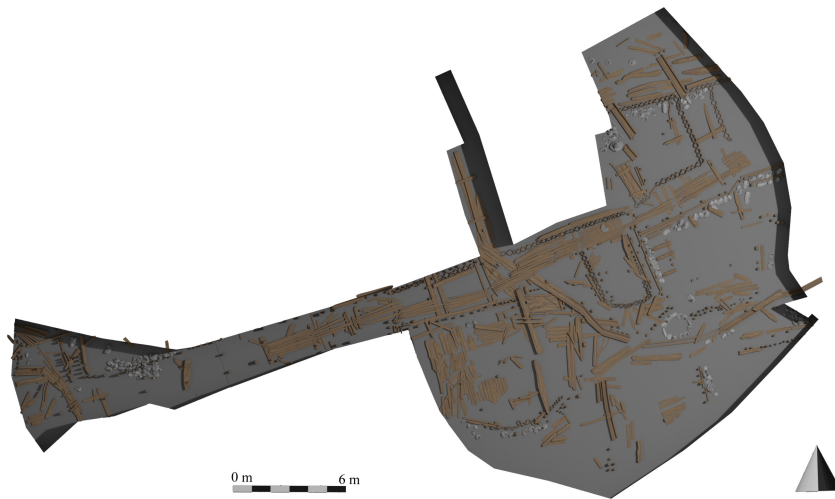


Abbildung 4: 3D-Planumzeichnung Grabungssituation Dammwiese 1887-1890 (Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv)

Die Leitung der Grabungen hatte Isidor Engl, dessen angewandte Dokumentationsmethoden der damaligen Zeit weit voraus waren.⁶⁵ Er fertigte Aquarelle, detailgenaue Pläne sowie Skizzen von Flächen und Profilen an.

⁶¹ RUDOLPH 1931, 337; Siehe auch: MORTON 1953, 99.

⁶² MORTON 1950, 10; 1956, 99.

⁶³ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162-163.

⁶⁴ MAHR 1925, 36; Siehe auch: MORTON 1953, 100.

⁶⁵ TREBSCHKE 2010, 337.

Später erfolgten kleinere Feldkampagnen von Friedrich Morton in den Jahren 1936-1937.⁶⁶ Nach botanischen Analysen wird die Dammwiese als eutrophes Riedmoor definiert. Die Moorwiesen erstrecken sich auf beiden Seiten des Sattels in einer Höhe von ca. 1100-1370 m.⁶⁷ Die Strukturen befinden sich eingebettet in das saure und feuchte Milieu. Das erklärt die fast perfekten Erhaltungsbedingungen der Bauhölzer.⁶⁸

Stratigraphie

Der anstehende Boden ist stark durchnässt und lehmig, mit darunter liegendem Haselgebirge.⁶⁹ Diese Schicht besteht aus Ton, Gips, Anhydrit, Steinsalz und Sandstein.⁷⁰ Bei den Ausgrabungen von 1887-1890 lag die maximale Tiefe bei 2,4 m und die durchschnittliche Tiefe bei 1,4 m.⁷¹

Der Schichtverlauf bestand im Groben aus bis zu 1 m Torf bzw. Moorablagerung, aus einer 70-90 cm oberen Kulturschicht, darunter 35 cm Torf mit Kohlen und Tierknochen, darauf folgend eine 17 cm starke untere Kulturschicht und darunter eine fundlere Schicht, diese deutet einen ehemaligen Waldbestand an (Siehe Abb. 5).⁷²

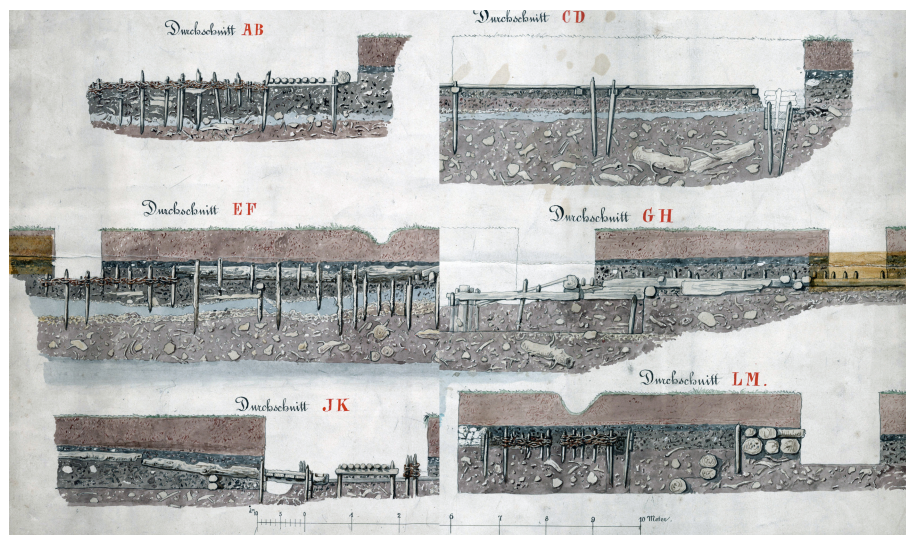


Abbildung 5: Schichtverläufe aus den Profilen der Dammwiesengrabungen von 1887-1888 (Quelle: Salzreich, S. 163. H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv)

⁶⁶ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 164-165.

⁶⁷ RUDOLPH 1931, 338.

⁶⁸ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162-164.

⁶⁹ MAHR 1925, 36.

⁷⁰ KERN ET AL. 2008, 228.

⁷¹ MORTON 1956, 92.

⁷² MAHR 1925, 36.

Ein Auszug aus den originalen Grabungsprotokollen gibt noch genauere Hinweise zur Schichtabfolge und deren Aufbau:

Aus den Ausgrabungen geht hervor, dass die festgestellte „Kulturschichte“ von Torf in abwechselnder Stärke von 20 cm bis 1 m überlagert wurde. Die Kulturschicht selbst, in welcher die Holzbauten zum größten Teil eingebettet waren, wird in der Beschreibung der verschiedenen Aufschlüsse in der Regel gegliedert in eine „Brandschichte“, gebrannten Lehm und Kohlenreste mit Topfscherben und Tierknochen und in eine „Scheitenlage“ bestehend aus gehackten Scheiten und kleinen Holzabfällen, stellenweise noch unterlagert vom „Rinnwerk“ der vermuteten Salinenanlage. Die Mächtigkeit der Brandschichte schwankt von Ort zu Ort zwischen 20 bis 100 cm, die der Scheitenlage von 10 bis 70 cm. Stellenweise ist diese Kulturschicht noch von älterem Torf, bis zu 1 m stark unterlagert. In diese Schicht reichen teilweise noch die Holzbauten hinab. Der Untergrund wird als lehmig definiert.⁷³

Zählt man alle fundführenden Schichten zusammen, erhält man eine Höhe von bis zu 1,42 m (Kulturschicht I - Kulturschicht II).

Aus den Grabungen von 1936/1937 ist die Schichtabfolge als verschieden starke Schichten von Erde, mächtigem Torf und „zähen Letten“ überliefert.⁷⁴

Befunde

Bei den freigelegten Befunden handelt es sich um eine Bergbausiedlung mit Wirtschafts- und Wohngebäuden.⁷⁵ Die Gebäude stammen vermutlich von den Bergleuten, Bestattungen sind keine bekannt.⁷⁶ Bei der Suche nach den Bestattungsplätzen wird angenommen, dass sich diese im Gräberfeld des Salzbergfels oder am Solingerkogel befinden. Die Betriebsstätte umfasste mehrere tausend Quadratmeter.⁷⁷ Die Lage der Hochebene wurde wahrscheinlich als Schutz vor erneuten Murenabgängen gewählt. Bis heute sind am Hallstätter Salzberg keine weiteren Überreste einer prähistorischen Siedlung erforscht worden.

Die erhaltenen Strukturen bestehen hauptsächlich aus Holz. Bei den Konstruktionen handelt es sich um Hausreste mit Fundamenten aus Kalkstein, Bohlenwege und umfangreiche Entwässerungskanäle und -gräben sowie Holzgeräte.⁷⁸ Auf einer Kartenlegende von 1890 ist eine genauere Unterscheidung der Befunde vorhanden. Die gesamte Fläche wird als zerstörte Betriebsstätte bezeichnet (Siehe Abb. 6).

⁷³ RUDOLPH 1931, 339-340; Siehe auch: MORTON 1956, 92.

⁷⁴ MORTON 1953, 100.

⁷⁵ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162-164.

⁷⁶ MAHR 1925, 43.

⁷⁷ MORTON 1953, 101-102.

⁷⁸ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162-164.

Es erfolgt eine Einteilung in:

Kleine Rinnwerke, größere Kanäle aus Hölzern und Flechtwerk; Bassins aus mit Flechtwerk umspannten Pfählen; Holzwände mit Pfählen und Steinen, Konstruktionen aus Pflöcken, Holzbalken mit eingestemmt Vertiefungslöchern, große unverformte Holzstämmen, Reste von Fußböden und Bedachung (Schindeln), Haufen- und lineare Strukturen aus Kalkstein (teilweise mit Brandspuren).⁷⁹ Zu erwähnen sind noch diverse „Schützbühnen“ aus gehackten Brettern, gehalten durch lotrechte Hölzer an den Längsseiten; Lehmüberzug am Flechtwerk; eine Feuerstelle aus Kalksteinen, „herdartig“ geschichtet mit Asche, Kohle und Tierknochen in der Mitte; ein Schubler am Ende eines Kanals. Mit der Bezeichnung „durchlochte Steine“ sind wahrscheinlich Mahlsteine gemeint (Siehe Abb. 6 und 7).⁸⁰

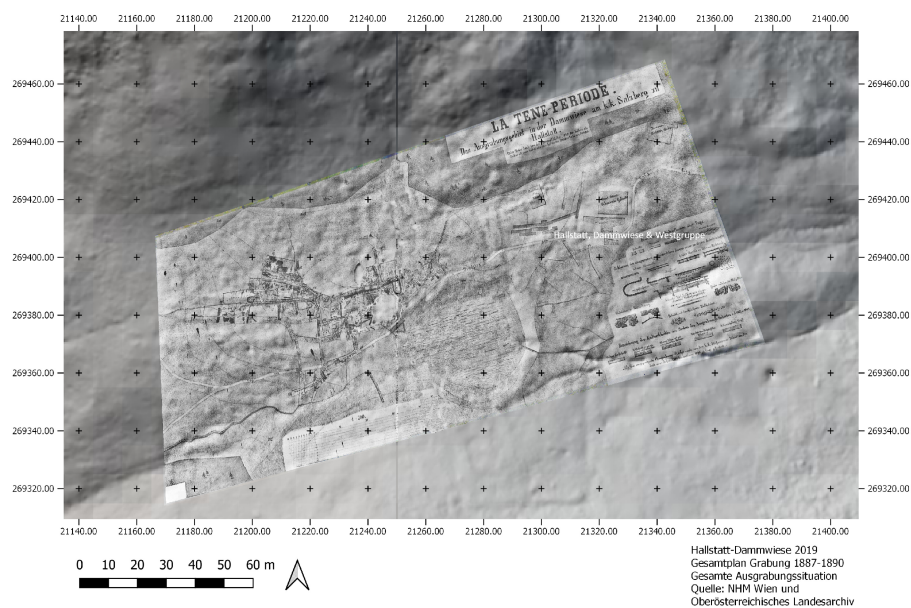


Abbildung 6: Einer der referenzierten Gesamtpläne von 1887-1890 mit Geländeschumierung im Hintergrund (Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Plan: Salzreich, S. 160-161. Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv, Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, *Hallstatt*)

Trotz der großflächigen Ausgrabungen konnten weder Grenzen noch klare Funktionen der Siedlung definiert werden. Alle Befunde stammen aus der oberen (I) und unteren Kulturschicht (II), wobei sich in dieser hauptsächlich die eingetieften Pfähle befanden. Am nordwestlichen Ende der Dammwiese befindet sich bis heute eine

⁷⁹ Museum Hallstatt 1890, Plan; RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 160-161.

⁸⁰ MORTON 1953, 100; 1956, 92.

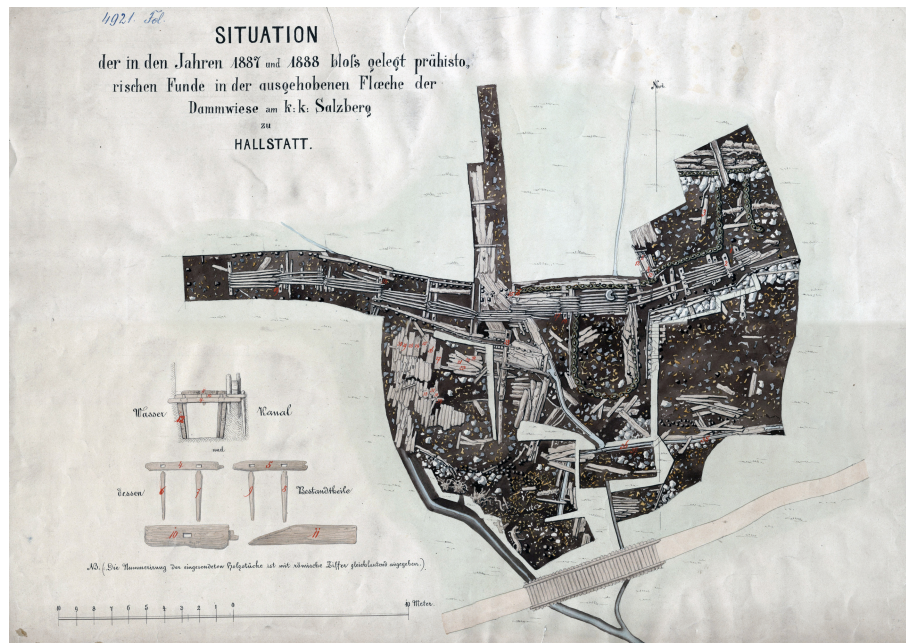


Abbildung 7: Kolorierter Situationsplan von 1887 und 1888 (Quelle: Salzreich, S. 163. H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv)

Solequelle. Sie weist einen hohen Salzgehalt auf und wird deshalb immer wieder in Zusammenhang mit Soleversiedung gebracht.⁸¹ Die wissenschaftlichen Quellen des frühen 20. Jahrhunderts beschreiben, dass die Holzkanäle und Rinnen als Ableitung von Oberflächen-, Grubenwasser und vielleicht auch für Sole dienten. Daraus resultiert die These, dass die Bewohner der Dammwiese zusätzlich zum herkömmlichen Bergbau Sole verarbeiteten, also eine Saline betrieben.⁸² Die vielen Rinnen und Becken erwecken den Eindruck, dass hier mit System geleitet und geklärt wurde.⁸³ Friedrich Morton nahm an, dass zwar die großen Gefäße etwas mit Sole zu tun hatten, aber keineswegs die Rinnwerke und Kanäle. Die massiven Mengen an gebrannten Kalksteinen und Gebrauchskeramik wurden als Überreste eines Salzsiedeverfahrens interpretiert. Als Behältnisse nutzte man große, „halbkugelige Graphittongefäße“.⁸⁴ Auf Feuerstellen wurde immer wieder Sole in die Behältnisse nachgeschüttet, bis sich genug gesättigte Salzlauge gebildet hatte. Diese Lauge verteilte man flächig, um sie an der Luft zu trocknen.⁸⁵

⁸¹ MORTON 1950, 10.

⁸² MAHR 1925, 36.

⁸³ MORTON 1953, 101.

⁸⁴ MORTON 1950, 10.

⁸⁵ MAHR 1925, 37, Siehe auch: MORTON 1956, 98.

Ob in der Siedlung wirklich eine Saline betrieben worden ist, können nur erneute Ausgrabungen oder Keramikanalysen klären.⁸⁶ Eindeutig ist aber, dass die Dammwiese zugleich als Wohn-, Werkstatt- und Bergbaufläche genutzt wurde.⁸⁷ Auch eine Quelle von 1928 beschreibt Gebäudestrukturen, die 1887 freigelegt wurden: „Die bereits genannten Siedlungsanlagen der Dammwiese bei Hallstatt stammen im jüngeren Teile auch aus der La-Tene-Zeit und zeigen bereits die weitgehende Verwendung der umgebenden Holzarten für Holzhausbauten und Werkzeuge.“⁸⁸ Bei Feldkampagnen durch das Museum Hallstatt aus den Jahren 1936-1937 sollte neben der Ausdehnung, auch die Funktion der Siedlung geklärt werden. Die beschriebenen Befunde und Funde entsprechen den Ergebnissen von 1886-1890.

Es wurden Rinnen mit dazwischen eingeschachtelten Öffnungen aus gehackten Brettern, Knüppelwege, Holzbottiche und von Flechtwerkwänden eingeschlossene Becken freigelegt. Die Holzverbindungen waren kunstvoll ausgeführt.⁸⁹

1936 gelang eine weitere sensationelle Entdeckung, die Freilegung eines auf ca. 1,5 m Höhe erhaltenen Stollenhauses aus Holz mit dem zugehörigen Mundloch (Siehe Abb. 8).⁹⁰

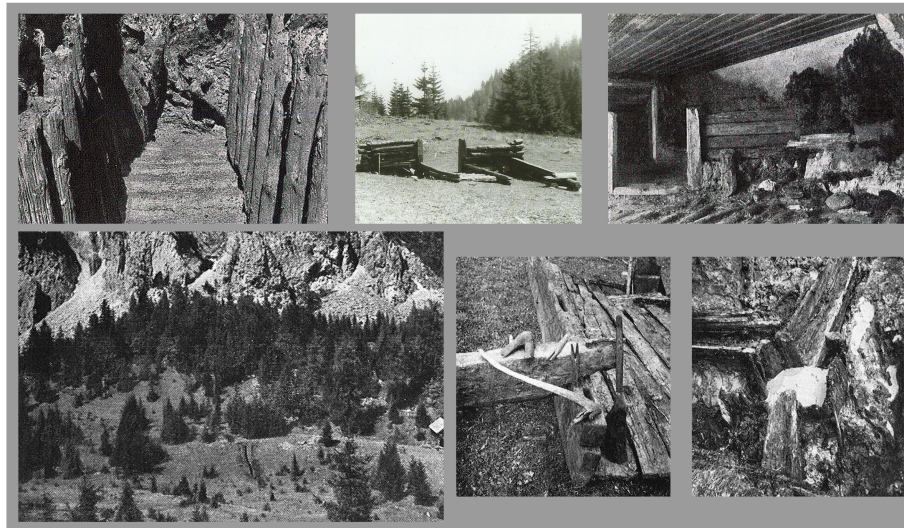


Abbildung 8: Der Stollen, das Mundlochhaus und Kanäle von 1936-1937 (Quelle: F. Morton 1937 und 1939, Museum Hallstatt)

⁸⁶ MORTON 1950, 10.

⁸⁷ MAHR 1925, 38.

⁸⁸ WERNECK 1928, 357.

⁸⁹ MORTON 1939, 14-15; 1950, 15.

⁹⁰ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 164-165.

Das Gebäude befand sich direkt unter der Torfdecke, tief eingebettet im Letten und war in so gutem Zustand, dass es vor Ort auf der Dammwiese und später im Museum Hallstatt wieder aufgebaut werden konnte.⁹¹ Vor dem Zugang befand sich ein Bohlen- oder Knüppelweg, ähnlich war auch der Stollenboden gestaltet. An den *Ulmen* befand sich eine starke Stempelverzimmerung.⁹² Die obersten Stempelteile waren verbrochen. Die Struktur befand sich in 3,5 m Tiefe. Die Gesamthöhe des Stollens war ca. 1,7 m und er wurde auf einer Länge von 9 m freigelegt. Im Inneren befanden sich Leuchtpäne und der Schädel eines Rinds.⁹³ Aufgrund der Keramikfunde datiert die Konstruktion ins ausgehende 1. Jh. v. Chr.. Der Stollen wurde nur teilweise ausgegraben und geborgen.⁹⁴ Es handelt sich um das bisher einzig erhaltene prähistorische Mundloch von Hallstatt.⁹⁵ Auf einem Foto von 1936 ist der Schnitt eindeutig lokalisierbar. In der Arbeit von Thomas Ragger wurde der Stollen schon am Rand des Staubeckens ungefähr lokalisiert.⁹⁶

Dadurch wird bewiesen, dass im Zentrum der Siedlung ein Salzabbau unter Tage betrieben wurde. Durch das Museum Hallstatt wurden 1939 auf der Dammwiese Vermessungen durchgeführt und Pollenprofile erstellt. Im Jahr 1940 war eine Gesamtfreilegung der Siedlung geplant, die aufgrund des Ausbruchs des 2. Weltkriegs nicht mehr durchgeführt wurde.

Aufgrund der Höhenlage war es sicher nicht einfach, an diesem Punkt zu siedeln. Mitten im alpinen Gebirgsklima sind die Sommer kurz und die Winter sehr lang. Vom nördlichen Plassenstock drohen immer wieder Felsstürze.⁹⁷ Die Fläche musste vorher teilweise trocken gelegt werden, im Winter war die Schneedecke meterdick, die Baumaterialien mussten aus tiefer gelegenen Lagen auf die Hochebene transportiert werden. All das war ein enormer logistischer Aufwand.⁹⁸

Naturwissenschaftliche Analysen

1887-1890 waren die wissenschaftlichen Möglichkeiten bzw. das Potenzial der Untersuchungen von prähistorischen Hölzern kaum bekannt. Deshalb wurden nur wenige der Holzbauelemente geborgen.

Einige aus dem Bestand des Hallstätter Museums konnten Anfang des 20. Jahrhunderts analysiert werden. Die verwendeten Bauhölzer stammten von der Silbertanne (*Abies Alba*), Gemeine Fichte (*Picea excelsa*) und die sehr langsam wachsende Europäische Eibe (*Taxus baccata*).⁹⁹ Bei weiteren Proben konnten noch Lärche (*Larix decidua*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Eiche (*Quercus*) festgestellt werden.

Bei dieser Serie wurde auch geborgenes Werkzeug untersucht.

⁹¹ MORTON 1950, 11.

⁹² Ulmen = die seitlichen Begrenzungsflächen des Hohlraums.

⁹³ MORTON 1937, 11.

⁹⁴ MORTON 1953, 100.

⁹⁵ MORTON 1939, 14, 48.

⁹⁶ RAGGER 2019, 93.

⁹⁷ MORTON 1953, 101.

⁹⁸ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162.

⁹⁹ HOFMANN, MORTON 1927, 90-91.

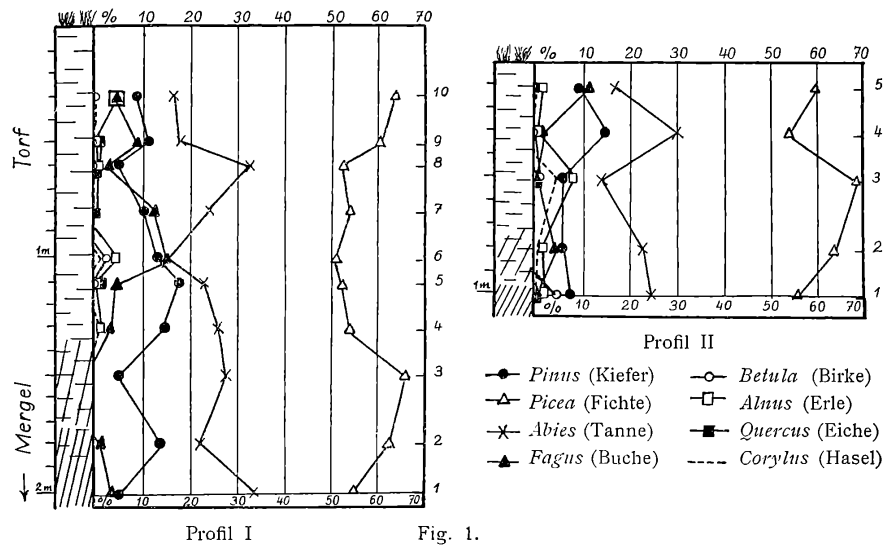


Abbildung 9: Auswertung von zwei Pollenprofilen der Dammwiese aus dem Jahr 1931 (Quelle: Fig. 1, K. Rudolph 1931, 341)

In den frühen 1930er Jahren wurde von Friedrich Morton zusätzlich noch eine Pollenuntersuchung angeordnet. Dafür wurden Bohrkerne in und um die Grabungsflächen entnommen und ausgewertet. Aus zwei Bohrprofilen konnten Pollendiagramme erstellt werden (Siehe Abb. 9). Die Ergebnisse zeigen, „dass die Vegetationsverhältnisse in der Umgebung der Dammwiese, und zwar die Wald Zusammensetzung sowie die Moorvegetation selbst, so weit feststellbar in der Zeit der La Tènesiedlung und später im wesentlichen die Gleiche war wie heute.“¹⁰⁰

Funde

Ein Teil der Funde der Kampagnen von 1887-1890 verblieb im Museum Hallstatt, ein Großteil gelangte nach Wien in die Sammlung des NHM.¹⁰¹ In der Datenbank des Museums sind heute 150 Fundobjekte aus dieser Zeit vorhanden.¹⁰²

Da die Funde der Altgrabungen aus Kulturschicht I und II völlig ident bezüglich Machart, Typ und Datierung sind, ist die Zusammenlegung zu einer Schicht sinnvoll.¹⁰³ Das Fundmaterial ist außer den Holzfunden typisch für die ausgehende Eisenzeit und besteht aus Gefäßkeramik, Spinnwirteln und Fibeln.¹⁰⁴

Aus dem Siedlungsbefund stammen große Mengen an Gebrauchskeramik und Tierknochen, hauptsächlich von Rind, Schwein, Ziege und Hirsch.

¹⁰⁰ RUDOLPH 1931, 341-343.

¹⁰¹ MAHR 1914, 55.

¹⁰² NHM WIEN, Praehistorische Abteilung, Auszug Datenbank.

¹⁰³ MAHR 1925, 36.

¹⁰⁴ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 164-165.



Abbildung 10: Auswahl des geborgenen Fundmaterials der Altgrabungen (Quelle: A. Mahr 1925, NHM Wien Abb. 11 und F. Morton 1937, 1939, Museum Hallstatt.)

Bei den Keramikfunden handelt es sich hauptsächlich um graphitierte Kammstrichware, also eindeutig um Ware der ausgehenden Spätlatènezeit.¹⁰⁵

„Man unterscheidet allgemein grobe und feine Kammstrichware. Der feine Kammstrich ist definiert als Drehscheibenware feiner Scherbenqualität, deren Einschlüsse oder Magerungsbestandteile höchstens 1 mm, vereinzelt 2 mm groß sind. Ein Großteil der Feinkammstrichware ist aus graphitfreiem Ton gefertigt. Der Anteil der Graphittonkeramik schwankt aber stark, und die meisten Gefäße weisen zumindest Reste oberflächlicher Graphitierung an der Außenseite auf. Bis zu einem Zinkenabstand von ca. 2 mm kann der Kammstrich als fein definiert werden. Die Breite der Kämme liegt zwischen 5 und 14 Zinken bzw. 0,8 und 3 cm.“

Anhand des Materials konnten auf der Dammwiese sieben verschiedene Kämme identifiziert werden. Die Tatsache, dass zumindest ein Teil der feinen Kammstrichware in lokalen Werkstätten produziert wurde, ist auch für die Befundinterpretation von Bedeutung.¹⁰⁶

In älteren Quellen wurde ein Handel bzw. enger Austausch mit dem Donaauraum Linz angenommen.¹⁰⁷ Anhand des Fundmaterials kann diese Aussage nicht bestätigt werden, wie aktuelle Arbeiten beweisen. Es konnte nur ein Kontakt im nahen Umfeld der Siedlungen festgestellt werden.¹⁰⁸

¹⁰⁵ MAHR 1925, 36-37.

¹⁰⁶ TREBSCHKE 2010, 333-337.

¹⁰⁷ MORTON 1953, 101-102.

¹⁰⁸ TREBSCHKE 2010, 339-340.

Ein besonderer Fund für die Datierung ist eine keltische Goldmünze, ein so genanntes *Regenbogenschüsselchen*. Ein Einzelfund einer Bronzefibel aus der Frühlatènezeit dürfte mit der Siedlung in keinem direkten Zusammenhang stehen.¹⁰⁹

Das Fundmaterial von 1936-1937 besteht aus polychromen Scherben und Gefäßen, Werkzeugstielen, Salzschaufeln, Sprudlern und Spateln aus Holz, Schleifsteinen, Spinnwirteln aus Gefäßkeramik, Tierknochen (Haustiere) und Glasringe bzw. Perlen (Siehe Abb. 10).¹¹⁰ Laut dem Fundprotokoll wurden über 1800 Objekte geborgen und dokumentiert.¹¹¹ Nach den ersten Ausgrabungen wurde die Dammwiese als „ärmliche Siedlung“ interpretiert, die geborgenen Gefäßformen haben eine sehr große Variation und beweisen das Gegenteil.¹¹²

Eine Teilauswertung der Keramikfunde wurde 1952 veröffentlicht. Neben den Kammstrichwaren gibt es Tongefäße in Form von Kesseln. Diese sind halbkugelig mit einem zylindrischen Aufsatz und besitzen meist Lochhenkel. Diese Kessel sind normalerweise aus Bronze hergestellt. Auf einigen der 6 auf der Dammwiese gefundenen Tonkessel sind knopfartige Applikationen vorhanden, die als Nachbildungen von Nieten interpretiert werden.

Bei den bemalten Stücken handelt es sich meist um gelbrote Tonfragmente, die mit schwarzen Zickzackfurchen und Streifen verziert sind. Das Fundmaterial erweist sich als einheitlich und geschlossen. Besonders sind einige schriftartige Verzierungen (Hahnentritt) an Böden der Kammstrichware.¹¹³ Manche Gefäße wiesen einen Mundsauddurchmesser von 40 cm auf.¹¹⁴ Eine weitere Quelle listet die Funde von 1936 noch genauer auf: „Kleine und große Kammstrichgefäße, Flaschen, Schalen, Bruchstücke bemalter Gefäße, Bodenstücke von Graphittongefäßen mit eingeritzten Zeichen, durchlochte Scherbenscheiben; bemerkenswert sind Gefäßscherben, die mit Granit-(also Urgesteins-)Grus gemagert sind. Weitere erwähnenswerte Fundstücke sind zwei Ringe aus buntem Glas, eine Anzahl von Wetz- und Schleifsteinen aus Gosau-Sandstein und Urgebirgsgeschieben; mehrere stark zersetzte Werkzeuge aus Eisen und Eisenschlacke; Spatel und eine Schöpfvorrichtung aus Holz; Bruchstücke von runden Schleifsteinen; ein völlig erhaltener Bergwerkstollen mit Mundlochhütte; Knochen von Rind, Schwein, Schaf und Ziege und ein ganzer Schädel eines Urrindes“¹¹⁵

¹⁰⁹ MAHR 1925, 37-38.

¹¹⁰ MORTON 1939, 15-16; 1950, 11.

¹¹¹ MORTON 1937, 10.

¹¹² MORTON 1953, 100.

¹¹³ MORTON 1956, 103-105; Siehe auch: HELL 1952, 71-88.

¹¹⁴ MORTON 1937, 10.

¹¹⁵ STROH 1944, 357.

Datierung

Wie lange die Nutzungszeit der Siedlung andauerte, wird bis heute diskutiert. In älteren Quellen wurde von ca. 100 Jahren ausgegangen.¹¹⁶ In aktuelleren Werten geht man eher von 150 - 250 Jahren aus. Waldkantenanalysen datieren den Beginn der Fundstelle Dammwiese schon sehr früh, also ca. ab 250 v. Chr. bis in das 1. Jahrhundert v. Chr..¹¹⁷

Bis heute gibt es leider keine vollständigen Interpretationen der Befunde und des Fundmaterials.¹¹⁸ Das stellt ein großes Problem für die genaue Eingrenzung der Nutzungszeit, Ausdehnung und relativchronologischen Auswertung der Bergbausiedlung dar.

Wie erwähnt, datiert der Anfang der jüngerlatènezeitlichen Befunde durch erste Schlagdaten der 1937 geborgenen Hölzer in „Lt C - zeitliche Bereiche also in das frühe 2. Jh. v. Chr.“¹¹⁹

Bleibt noch zu beurteilen, ob die Ansiedlung auf der Dammwiese vielleicht doch schon ab der späten Frühlatènezeit entsteht. Das könnte den Fund der erwähnten Fibel aus dieser Periode erklären.¹²⁰ Auch in älteren Quellen wird dies schon vermutet: „Dort wurden im Jahre 1887 anlässlich der Ausgrabungen auch große Siedlungsanlagen bloßgelegt, welche, nachden Funden zu schließen, bereits aus einer älteren Zeit stammen und bis in die La-Tene-Zeit hineinreichen.“¹²¹ Die Siedlung reicht nach derzeitigem Kenntnisstand bis Latène D1, ob es eine Nachnutzung in römischer Zeit gibt, bleibt ebenfalls unsicher.

Im Bereich der kaiserzeitlichen Siedlung Lahn wurden Funde aus der Spätlatènezeit gemacht.¹²² Friedrich Morton meinte nach Abschluss der Untersuchungen von 1936-1937, dass das Ende der Dammwiese „ohne weiteres ein paar Jahrzehnte nach der Zeitenwende zu datieren ist.“¹²³ Später definiert er die Nutzungszeit genauer, von ca. 100 v. Chr. - 50 n. Chr..

Die aktuellste Datierung stammt aus einem Bericht über die Unterschutzstellung der Dammwiese von 2015. Dabei wird die Fundstelle ab dem 2. Jh. v. Chr. - 30 n. Chr. datiert.¹²⁴

Zweifelloos wurde die Bedeutung der Bergbausiedlung Dammwiese oft unterschätzt. Dabei ist klar, dass es sich um eine der wichtigsten Fundstellen der Spätlatènezeit im gesamten Salzkammergut handelt.¹²⁵

¹¹⁶ MAHR 1925, 38.

¹¹⁷ STOELLNER 2007, 324; Siehe auch: KOWARIK 2016, 44.

¹¹⁸ HELL 1952 71-88; Siehe auch: MORTON 1958, 35-38; Siehe auch: TREBSCHKE 2010, 333.

¹¹⁹ STOELLNER 2007, 324.

¹²⁰ MAHR 1925, 37-38; Siehe auch: STOELLNER 2007, 329.

¹²¹ WERNECK 1928, 354.

¹²² MORTON 1953, 103.

¹²³ MORTON 1939, 16.

¹²⁴ GRUBER 2015, 5-7.

¹²⁵ MORTON 1953, 99-102; 1956, 98.

2.2.2 Einblick Bergbau Westgruppe

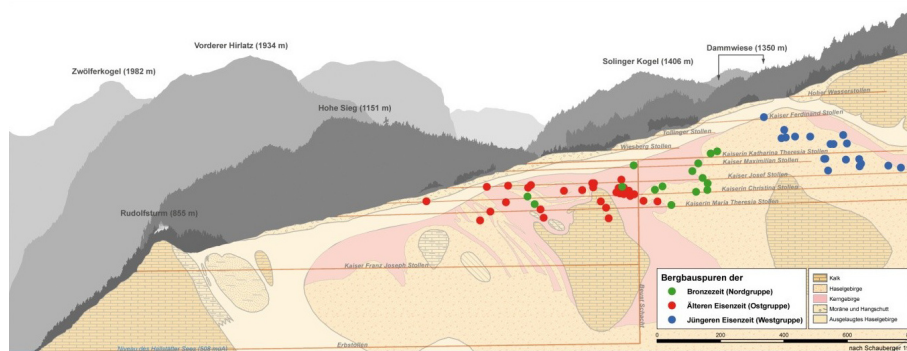


Abbildung 11: Schnitt durch den Salzberg von Hallstatt. Die Reviere der Westgruppe sind in blau gekennzeichnet (Quelle: Grundlage-Schaubberger 1960, Grafik - Klaus Löcker)

Die Westgruppe ist aufgrund der Auffassung der Bergbaue in diesem Gebiet nicht mehr zugänglich. Es wird vermutet, dass sich hier nicht nur spätlatènezeitliche, sondern auch römische und frühmittelalterliche Produktionsstätten befinden (Siehe Abb. 11).¹²⁶ Die Wiederinbetriebnahme der Salzgewinnung erfolgte nach den Hangrutschungen im 2. Jh. v. Chr.¹²⁷ Beim Gebiet der Westgruppe handelt es sich um das höchstgelegene Abbaurevier des prähistorischen Bergbaues. Diese Reviere sind wahrscheinlich ab dem Mittelalter, sicher aber ab dem 16. und 17. Jahrhundert angefahren worden.¹²⁸ Deshalb ist auch sehr wenig Fundmaterial aus dieser Zeit erhalten.¹²⁹ Die spärlichen Überreste bestehen aus zwei Schaufeln und Werkzeugstielen, einem Schuh und einer Wiede.¹³⁰ Mittels C14-Datierungen konnten die Schaufeln aus dem Peter-und-Paul-Werk eindeutig der Spätlatènezeit zugeordnet werden. In den Akten der Saline ist eine Fläche von 72.000 Quadratmeter, als Abbaugelände der Westgruppe dokumentiert, das sich bis in eine Tiefe von 330 m erstreckt. Die Fundstellen befinden sich in Höhen von 1210 und 1020 m über dem Meeresniveau, nahe dem Scheitel des Salzstocks unter dem östlichen Lahngangkogel. Bei der Westgruppe handelt es sich um den größten prähistorische Bergbau von Hallstatt. Zu der angewandten Abbautechnik der ausgehenden Eisenzeit ist nichts überliefert.¹³¹

¹²⁶ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162.

¹²⁷ RUSS-POPA 2011, 27.

¹²⁸ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162.

¹²⁹ RESCHREITER, KOWARIK 2015, 294.

¹³⁰ RESCHREITER, KOWARIK 2008b, 162-163.

¹³¹ SCHAUBERGER 1960, 10.

2.2.3 Vergleichssiedlung Ramsautal, Dürrenberg

Zirka 15 km südlich von Salzburg befindet sich der Dürrenberg. Der Ort gehört zu den wichtigsten latènezeitlichen Fundstellen Mitteleuropas. Von hier aus wurde ab dem 6. bis ins 1. Jh. v. Chr. in großen Mengen Steinsalz abgebaut und verhandelt. Die Gesamtausdehnung der Siedlungsflächen am Dürrenberg liegt bei ca. 1 Quadratkilometer.

Neben dem Ramsautal befinden sich diese noch am Lettenbühel, Hexenwandfeld, Putzen- und Ramsaukopf.¹³²

Befunde

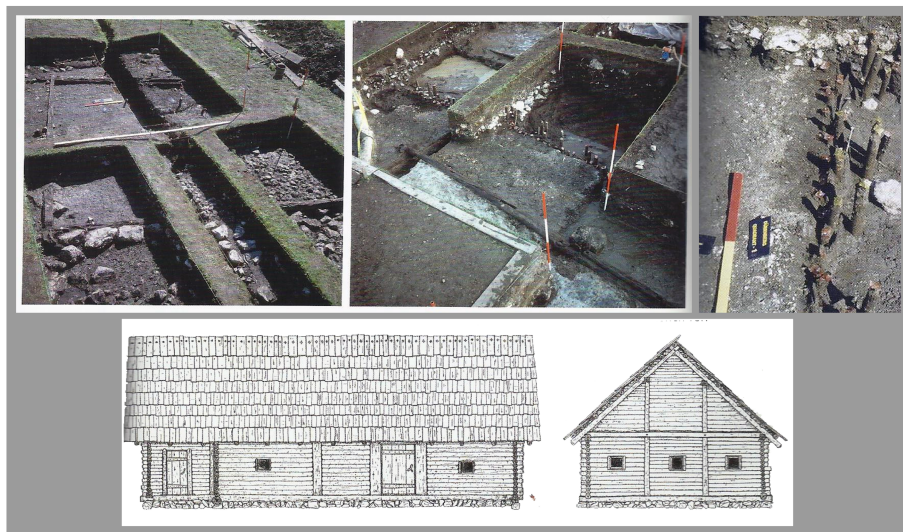


Abbildung 12: Die Befunde der Siedlung Ramsautal ähneln jenen der Dammwiese. Die Rekonstruktion der Gebäude war aufgrund der guten Erhaltungsbedingungen möglich (Quelle: Bild oben links: Th. Stöllner (ÖFD), Bild oben rechts: K. Zeller (ÖFD), unten: W. Lobisser.)

Die Ergebnisse der Rettungsgrabungen vom Ramsautal eignen sich sehr gut für einen Vergleich mit den Befunden der Dammwiese, denn es handelt sich um eine Gewerbesiedlung mit zugehörigem Bergbau.¹³³ Die Grabungen fanden in den Jahren 1982 und 1988-1989 statt. Dabei wurden 230 Quadratmeter Siedlungsfläche freigelegt und untersucht.¹³⁴ Das Tal liegt eingebettet zwischen Hügelkuppen und ist ca. 450 m lang und 100 m breit.¹³⁵

¹³² STOELLNER 2008, 167; 2015, 330-333.

¹³³ STOELLNER 1999, 72.

¹³⁴ ZELLER 1984, 199-202.

¹³⁵ LOBISSER 2015, 351.

Die große, ebene und sumpfige Wiese war ab der Mitte des 5. Jahrhundert dicht besiedelt.¹³⁶

Das Ende der Fundstelle datiert in das ausgehende 3. Jahrhundert vor Christus.¹³⁷

Auch im Ramsautal hat der Feuchtboden die eisenzeitlichen Holzbefunde perfekt erhalten. Das Gelände wurde zuerst in einer früheren Phase (HA D3) mit Ableitungsgräben drainagiert. Danach festigte man das Erdreich mit Pilotenreihen und Flechtwerk. Mehrere Brandschichten enthielten Holzkohle und Fragmente aus gebranntem Lehm. Diese sind Indizien für das Ende der Siedlung.¹³⁸

Insgesamt wurden bei den Grabungen ca. 9000 Holzobjekte geborgen.¹³⁹ Dadurch war eine detailreiche Rekonstruktion einzelner Gebäude möglich. Es handelte sich um Blockbauten, die mit Schindeln gedeckt waren. Die Häuser waren allgemein sehr groß und wiesen Seitenlängen von durchschnittlich 8-10 m auf.¹⁴⁰

Man errichtete sie auf einem Fundament aus Kalksteinen, dazwischen verliefen immer wieder Drainagegräben mit Holzpfählen.¹⁴¹ Die Gebäude hatten einen lang-rechteckigen Grundriss und die Schwellbalken erreichten eine Länge von bis zu 13 m. Die kleineren Pfostenbauten wurden als Werkstätten interpretiert.¹⁴² Unter den Schwellbalken befanden sich manchmal Kinderbestattungen. Eine Innenaufteilung war in manchen Fällen vorhanden. Einrichtungsgegenstände wie z.B. Möbel sind allerdings wenig erhalten. Der Boden bestand aus Lehm oder Holz.¹⁴³

In der Höchstphase der Bebauung standen die Gebäude dicht an dicht.

Die Konstruktionselemente der Häuser bestanden aus:

Rundstämmen, großen kantigen Hölzern, Schwellbalken, Pfosten, Spaltbrettern, Wandbalken, Flechtwerk, Piloten, Holznägeln, Keil- und Hakenhölzern.

Typische Verbindungen waren Nuten und Schlitz, rechteckige Ausnehmungen, Verzapfungen und Durchbrüche (Siehe Abb. 12).¹⁴⁴

Funde

Die Funde zeigen klar, dass es sich im Ramsautal um eine Gewerbesiedlung handelte. Geräte- und Kleidungsfunde aus dem Bergwerk weisen eine sehr einheitliche Ausrüstung der Bergleute auf.¹⁴⁵ Im Ramsautal wurden Werkzeuge für den Bergwerksbetrieb hergestellt und gewartet, vermutlich auch tausende von Leuchtspänen produziert.¹⁴⁶

¹³⁶ MOSER 2008, 172-173.

¹³⁷ STOELLNER 2015, 330-333.

¹³⁸ ZELLER 1984, 212-214.

¹³⁹ LOBISSER 2015, 354.

¹⁴⁰ STOELLNER 2015, 330-332.

¹⁴¹ MOSER 2008, 172-173.

¹⁴² LOBISSER 2015, 354.

¹⁴³ MOSER 2008, 172-173.

¹⁴⁴ LOBISSER 2015, 351-354.

¹⁴⁵ STOELLNER 2008, 167.

¹⁴⁶ MOSER 2008, 172-173.

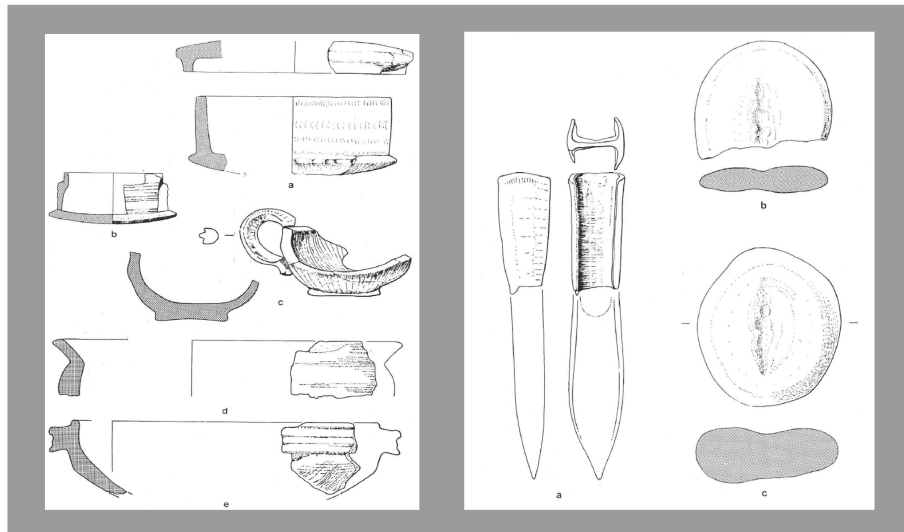


Abbildung 13: Gedrechselte Holzgefäße, Werkzeuge und Schleifsteine weisen auf eine Gewerbesiedlung hin (Quelle: K. Zeller (ÖFD), 1984.)

Zu den Holzfunden zählen gedrechselte Gefäße, hölzerne Arbeitsabfälle wie zum Beispiel Hackscharten, Werkzeugfragmente, etc.¹⁴⁷

Am Rande des Tales befanden sich metallverarbeitende Werkstätten. Das ist durch Funde wie zum Beispiel Gusstiegel, Eisenschlacken, Ambosse und Schleifsteine gesichert (Siehe Abb. 13).¹⁴⁸

Die Bewohner der Siedlung waren Bergleute und Handwerker. Die Ausgrabungsergebnisse im Ramsautal zeigen das Umfeld der Menschen ober Tage.¹⁴⁹ Die Speisereste aus den Siedlungsbereichen bestehen hauptsächlich aus Knochen von Rind, teilweise von Schwein, Schaf und Ziege. Jagdwild ist so gut wie nicht vorhanden.¹⁵⁰ Untersuchungen ergaben, dass die Rinder nicht vor Ort gezüchtet wurden, sondern mit großer Wahrscheinlichkeit lebend in die Siedlung gelangten.¹⁵¹ Wie in Hallstatt, mit den bronzezeitlichen Schweinen, wird auch am Dürrnberg eine mögliche Rinderfleischverarbeitung vermutet.¹⁵² Diese Annahme wird durch die großen Mengen an Rinderknochen gestützt. Auch eine Leder- bzw. Hautverarbeitung ist möglich. Neben den Knochen sind auch viele Rohhäute angefallen.¹⁵³

¹⁴⁷ LOBISSER 2015, 351.

¹⁴⁸ ZELLER 1984, 207-208.

¹⁴⁹ STOELLNER 2015, 330-332.

¹⁵⁰ MOSER 2008, 172-173.

¹⁵¹ PUCHER 1999, 34, 68.

¹⁵² BARTH, RESCHREITER, KOWARIK 2008, 78-80; Siehe auch: RUSS-POPA 2011, 101.

¹⁵³ RUSS-POPA 2011, 101.

Die Siedlung Ramsautal am Dürrenberg datiert zwar um einige Zeit früher als die Siedlung auf der Dammwiese, dennoch gibt es viele vergleichbare Parallelen in den Befunden, Funktionen und Funden.

2.2.4 Die Salinenfrage - Vergleich zu Befunden aus Bad Nauheim

Im Stadtgebiet von Bad Nauheim wurde eine der bedeutendsten eisenzeitlichen Salinenstandorte Mitteleuropas entdeckt. Aufgrund der kleinen Untersuchungsflächen der 1950er Jahre konnte das Gesamtausmaß der latènezeitlichen Salzproduktionsstätte nur vermutet werden. Die prähistorische Siedlung von Bad Nauheim war vollständig auf die Produktion von Salz ausgelegt.¹⁵⁴

Nach Sondierungen in den 1990er Jahren wurde von 2000-2004 eine Fläche von über 4000 Quadratmeter geöffnet. Ähnlich wie im Ramsautal und auf der Dammwiese ist hier die hervorragende Holzerhaltung der Befunde zu erwähnen, deshalb konnte in Bad Nauheim der gesamte Prozess der eisenzeitlichen Soleversiedung rekonstruiert werden. Die Befunde bestanden aus batterieartig angelegten Siedöfen, Pflasterungen, eingefasste Solequellen, Zuleitungssysteme und Flechtwerkeinfassungen. Die latènezeitlichen Befunde von Bad Nauheim datieren exakt in die



Abbildung 14: Links: Plan der Ausgrabungen in Bad Nauheim von 2000-2004. Rechts: Quadratische Steinplasterungen, Holzkästen und -kanäle (Quelle: Links - Grafik: V. Grünewald, Mainz. Rechts - V. Rupp, hessenArchäologie)

vermutliche Nutzungszeit der Dammwiese also von 250 v. Chr. bis ca. um Christi Geburt.¹⁵⁵

Die Holzbecken um die Quellsolen haben eine Größe von ca. 50 Quadratmetern sie sind oft noch mit Verschalungen aus Flechtwerk gestärkt. Das größte Becken weist einen L-förmigen Grundriss aus Schwellbalken auf. Neben Holzkanälen als Zu- und Ableitungen gab es auch Holzröhren, die mit Stopfen geschlossen werden konnten.

¹⁵⁴ HERRMANN/JOCKENHOEVEL 1990, 285; 316.

155 HANSEN 2013, 91.

Zusätzlich gab es noch Becken und Kanäle aus Flechtwerk die zur Abdichtung mit Lehm verputzt waren. Die Sole wurde auf zahlreiche zur Mitte hin abgesenkte Bereiche mit Steinpflasterung geleitet. Diese waren von Wällen aus Asche und Lehm umgeben.

In diesen Wällen befanden sich Holzkästen, die wahrscheinlich zur Abtrennung von Schwebstoffen dienten, durch diese wurde die Sole dann auf die Steinflächen geleitet. Durch Sonne und Wind verdunstete das Restwasser und das Salz konnte abgekehrt werden. Das wurde auch mehrfach durch experimentelle Archäologie nachgewiesen. Zusätzlich wurde in Bad Nauheim Sole in Öfen verdampft (Siehe Abb. 14).¹⁵⁶

Wie auch auf der Dammwiese befanden sich in den Schnitten von Bad Nauheim Unmengen an zerbrochener Keramik in der Nähe der Öfen. Das weist auf ein Umfüllen des durch Sieden gewonnenen Salzes in andere Gefäße hin.

Neben Bad Nauheim gibt es in Mitteleuropa noch prähistorische Salinenanlagen in z. B. Schwäbisch Hall, Halle a. d. Saale und im französischen Seilletal. Jedoch ist keiner dieser Fundstellen so gut erforscht bzw. weist so gute Erhaltungsbedingungen wie jene von Bad Nauheim auf.¹⁵⁷

In Frankreich und auch in Werl (Norddeutschland) sind eisenzeitliche Briquetageanlagen nachgewiesen. Die Sole wurde dabei in konischen Keramiktiegeln auf Säulen verdampft.¹⁵⁸

¹⁵⁶ HANSEN 2013, 93.

¹⁵⁷ HANSEN 2013, 94.

¹⁵⁸ ZEILER 2013, 73.

3 Methodik

Bei der konventionellen analogen Dokumentation von archäologischen Strukturen werden Fotografien, Handzeichnungen und Pläne angefertigt.

Dabei handelt es sich um zweidimensionale Daten, obwohl auf Ausgrabungen im Wesentlichen immer dreidimensionale Strukturen dokumentiert werden, das führt zu einer Reduktion der Informationen.

Die 3D-Dokumentation bildet einen Lösungsansatz mit vielen Vorteilen und ermöglicht zusätzlich noch den Export der gewohnten 2D-Daten, wie Pläne und Renderings.¹⁵⁹

3.1 3D-Dokumentation

Die dreidimensionale Dokumentation von Objekten, Landschaften, Funden und Befunden ist als die Aufnahme der realen Oberflächen und der darauf folgenden Übertragung in digitale Geometrieinformationen definiert.

Zur Anwendung bzw. Durchführung gibt es eine große Zahl diverser Verfahren und Geräte. Der gewünschte Auflösungs- oder Genauigkeitsgrad der digitalen Kopie ist entscheidend für die Auswahl des Aufnahmeverfahrens.¹⁶⁰

Die enormen Fortschritte der letzten 15 Jahre, insbesondere bei der 3D-Aufnahme realer Objekte, sind vor allem der Verbesserung und Entwicklung der Hardware zu verdanken. Wie zum Beispiel Laserscanner, UAVs, Fotokräne, Teleskopstangen, etc. Diese Werkzeuge haben die virtuelle Welt der Archäologie durch hochauflösende 3D-Modelle erweitert.¹⁶¹

Im Allgemeinen werden aktive und passive Methoden der 3D-Dokumentation differenziert.¹⁶² Vor allem bei kleineren Objekten, wie z. B. bei archäologischen Fundmaterial, ist die Präzision und Dichte der Oberflächenpunkte sehr wichtig. Das heißt, dass bei deren Dokumentation eine wesentlich höhere Auflösung und Genauigkeit berücksichtigt werden muss.

Eine flache Landschaft lässt sich im Gegensatz dazu zum Beispiel schon durch einzelne Messpunkte aus dem Tachymeter oder einem GPS-Gerät dokumentieren.

¹⁵⁹ ELBURG ET AL. 2014, 65.

¹⁶⁰ BROCKMANN 2019, 24.

¹⁶¹ RAHAMAN, CHAMPION 2019, 1835.

¹⁶² BROWNE 2019a, 40.

Es handelt sich hier um die ursprünglichste Variante der 3D-Dokumentation einer Landschaft, einer Grabung etc.. Mittels Tachymeter werden händisch Punkte mit x-, y- und z-Koordinaten eingemessen. Je nach Menge der Punkte entsteht eine mehr oder weniger dichte Punktwolke, die dann zu einer 3D-Oberfläche interpoliert werden kann.¹⁶³

3.1.1 3D-Scan

Bei 3D-Laserscannern handelt es sich um aktive Messsysteme.

Das heißt, ein Lichtsignal (Laserstrahl) wird vom Messgerät ausgesendet und wieder empfangen. Häufig werden die 3D-Daten in Echtzeit produziert und können direkt kontrolliert werden. Sie können sowohl am Boden (*Terrestrisches Laserscanning-TLS*) als auch aus der Luft (*Airborn Laserscanning-ALS*) betrieben werden.¹⁶⁴

Der Einsatz von Laserscannern hat die Qualität von Oberflächenmodellen erheblich gesteigert.¹⁶⁵

Funktion

Der ausgesendete Laserstrahl dient primär der Entfernungsmessung und Positionierung der Oberfläche. Diese Messungen erfolgen entweder durch das *Phasendifferenz-* oder *Impulsmessverfahren*.¹⁶⁶ Dadurch ist eine genaue Lokalisierung eines jeden Punktes mittels x-, y- und z-Koordinaten gewährleistet. Zusätzlich wird noch die Intensität des Lichtstrahls an jedem Punkt ausgegeben.¹⁶⁷ Ein vertikaler Spiegel mit einer Drehachse von 360 Grad sorgt für die Streuung des Laserstrahls. Für die Aufnahme der Waagrechten drehen sich die Scanner zusätzlich noch um die horizontale Achse. Diese automatischen Bewegungsschritte können in Grad angegeben werden und beeinflussen dadurch die Auflösung der Punktwolke.

Abschattungen, also Bereiche, die von der aktuellen Scanposition nicht erreicht werden, sollten vermieden werden. Dieses Problem kann durch Scans aus verschiedenen Positionen und Perspektiven gelöst werden.

Positionierung und Georeferenzierung

Die einzelnen Standpunkte des Geräts werden in der Nachbearbeitung entweder über gemessene Referenzpunkte oder durch markante Überschneidungen zusammengeführt. Die gesamte 3D-Punktwolke wird georeferenziert dadurch erfolgt eine Zuordnung an ihren exakten geografischen Ort.¹⁶⁸

¹⁶³ BROCKMANN 2019, 24.

¹⁶⁴ BROWNE 2019a, 40.

¹⁶⁵ DONEUS, NEUBAUER 2005, 226-231; Siehe auch: WESSLING ET AL. 2014, 1.

¹⁶⁶ BROCKMANN 2019, 24.

¹⁶⁷ BROWNE 2019a, 41.

¹⁶⁸ BROCKMANN 2019, 24.

Die Georeferenzierung erfolgt meist auf zwei verschiedene Arten, es werden direkte und indirekte Verfahren unterschieden. Bei direkten Verfahren ist im Gerät ein Sensor für die Lokalisierung in einem globalen Koordinatensystem integriert. Moderne Laserscanner besitzen mittlerweile fast alle eine integrierte *Real-Time-Kinetic* (RTK) Einheit.¹⁶⁹

Mit Hilfe dieser Sensoren ist eine Echtzeitpositionierung der Punktwolke per Satellit möglich.¹⁷⁰

Bei indirekten Verfahren müssen Messpunkte manuell gesetzt, mittels GPS oder Tachymeter eingemessen und nachträglich am Modell integriert werden. Dazu zählt auch der Export von Messpunkten aus einem *Geoinformationssystem* (GIS).¹⁷¹

Airborne Laserscanning-ALS

Neben den stationären terrestrischen Scannern (TLS) auf einem Stativ sind auch Messungen auf bzw. an bewegten Objekten möglich z. B. integriert in einem *unmanned aerial vehicle* (UAV), einem Fahrzeug oder am Rumpf eines Flugzeugs.



Abbildung 15: Aus einem digitalen Höhenmodell gerechnetes Mesh (Quelle: Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, *Hallstatt*)

Beim *Airborne Laserscanning* (ALS) wird die horizontale Achse durch die Vorwärtsbewegung des Trägerflugzeugs ersetzt. Die einzelnen Bahnen werden durch Messgeräte an Board exakt verortet. Aufgrund von Neigungen des Flugzeugs

¹⁶⁹ BROWNE 2019a, 43.

¹⁷⁰ GAKSTATTER 2009, 2.

¹⁷¹ BROWNE 2019a, 43.

kommt es immer wieder zu Veränderungen des Messwinkels. Diese werden durch ein *inertiales Navigationssystem*(INS/IMU) verhindert bzw. ausgeglichen.¹⁷²

Das ALS zählt zu den wichtigsten Entwicklungen der letzten Jahre aus dem Bereich Fernerkundung. Bei den produzierten Daten handelt es sich um wichtiges Informationsmaterial für archäologische Prospektionen und Interpretationen.¹⁷³

Ein relevanter Vorteil des Systems gegenüber anderen Methoden besteht darin, dass der Laser Vegetation durchdringt und einzelne Lichtpunkte bis an die darunter liegende Oberfläche reichen (Siehe Abb. 15). Die unterschiedlichen Reflexionswerte können später mittels Algorithmen differenziert und anschließend entfernt werden. So erhält man ein nahezu vegetationsfreies Modell.

Einer der wenigen Nachteile ist, dass vertikale Flächen, wie z.B. die Fassaden eines Gebäudes, durch das ALS wenig bis gar nicht erfasst werden.¹⁷⁴

Triangulations- oder Streifenlichtscanner

Weitere oft angewandte aktive Methoden sind Triangulations- oder Streifenlichtscanner. Diese werden hauptsächlich bei kleineren Objekten, wie z.B. bei archäologischem Fundmaterial eingesetzt (siehe Abb. 16). Im Prinzip kommen sie zum Einsatz, wenn von den zu scannenden Oberflächen eine sehr hohe Auflösung gefordert ist. Hierzu wird ein aktives Signal, bestehend aus einem generierten Muster und Laserlinien, auf die Oberfläche projiziert und von einem Kamerasensor empfangen.

¹⁷² BROCKMANN 2019, 24.

¹⁷³ DONEUS ET AL. 2018, 205-206.

¹⁷⁴ BROWNE 2019a, 41.



Abbildung 16: Dokumentation von Funden mittels Triangulations- oder Streifenlichtscannern
(Quelle: A. Linzbauer 2018, Studiensammlung des Institut für UHA, Crazy Eye
OG 2018)

Die Abstände zwischen gesendetem Signal und den Sensoren ist bekannt, dadurch können mithilfe von Triangulation Oberflächenpunkte berechnet werden.¹⁷⁵

Die Messungen werden in Echtzeit vermascht (Netzbildung) wobei jeder Tiefenwert ein Pixel darstellt.¹⁷⁶ Triangulations- und Streifenlichtscanner funktionieren im Grunde nach demselben Prinzip.

Streifenlichtscanner können durch diverse Einstellungsmöglichkeiten angepasst werden:

„Hierbei lässt sich die Anordnung zwischen Signalgeber und Sensoren individuell festlegen und kalibrieren, so dass eine gewisse Flexibilität bei der Objektgröße besteht.“¹⁷⁷

Die Nachteile von Laserscannern sowie strukturierten Beleuchtungssystemen sind zum Beispiel Probleme bei starkem Sonnenlicht, enorme Datenmengen und der oft hohe Anschaffungspreis der Geräte.¹⁷⁸

¹⁷⁵ BROCKMANN 2019, 24.

¹⁷⁶ BROWNE 2019a, 41.

¹⁷⁷ BROCKMANN 2019, 25.

¹⁷⁸ RAHAMAN, CHAMPION 2019, 1835.

3.1.2 Bildbasierte 3D-Modellierung (IBM)

Aufgrund des relativ einfachen Verfahrens und den geringen Kosten hat die Anwendung dieser Art von 3D-Dokumentation stark zugenommen.¹⁷⁹

Image Based Modeling (IBM) ist ein Verfahren, das ursprünglich für maschinelles Sehen oder *Computer Vision* entwickelt wurde.¹⁸⁰

Dieses Verfahren besteht aus einer Reihe mathematischer Algorithmen, diese werden unter dem Begriff *Struktur durch Bewegung* (Structure from Motion-SfM) zusammengefasst und in Folge mit einem Vergleichsverfahren für Fotografien kombiniert. Das Ziel bzw. Endprodukt ist die Extraktion von 3D-Punktwolken und -Modellen.¹⁸¹

Bei Image Based Modeling handelt es sich um ein passives Verfahren.

Das maschinelle Sehen findet Anwendungen in vielen Bereichen aus Wissenschaft und Technik wie z.B. Robotik, Militär, Überwachung, künstliche Intelligenz, Bewegungserkennung, Medizintechnik und Produktinspektion.

Einigen innovative Anwendungen nutzen Algorithmen der Computer Vision im Hintergrund z.B. bei selbstfahrenden Fahrzeugen, UAVs, SMART Geräten oder Häusern, Gesichtserkennung, Navigation und Tracking sowie Fingerabdruck Scanner.¹⁸²

¹⁷⁹ BROCKMANN 2019, 25.

¹⁸⁰ HUANG 1996, 21-25; Siehe auch: SZELISKI 2010, 2-7; VAN DAMME 2015, 12-13.

¹⁸¹ SZELISKI 2010, 2-15; Siehe auch: VERHOEVEN 2016, 5.

¹⁸² HUANG, 1996, 2-4; Siehe auch: SZELISKI 2010, 2-7; VAN DAMME 2015, 12-13.

Rohdatenaufnahme

Ein relevanter Vorteil gegenüber 3D-Scannern ist, dass zur Rohdatenerfassung eine Digitalkamera ausreicht.¹⁸³ Auf archäologischen Ausgrabungen gehören Vermessungsgeräte und digitale Spiegelreflexkameras zum Standardequipment. Die Möglichkeiten zur Dokumentation von stratigraphischen Einheiten mit IBM-Technologien sind benutzerfreundlich, kostengünstig und sehr genau.¹⁸⁴



Abbildung 17: Rohdatenaufnahme im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: D. Brandner 2016, NHM Wien)

Durch SfM wird eine dreidimensionale Struktur mittels Bewegung der Kamera gebildet. Das zu dokumentierende Objekt wird dabei von allen Seiten mit ausreichender Überlappung von ca. 60-80 Prozent fotografiert. Es ist notwendig, auch Fotoserien aus verschiedenen Höhen und Neigungswinkeln zu machen (Siehe Abb. 17).¹⁸⁵ Um eine neutrale Textur des Objekts zu erhalten, ist vorab auf eine gleichbleibende Ausleuchtung des Objektes zu achten. Schattenwürfe sind zu vermeiden.¹⁸⁶

Neben den perspektivischen Serienfotos ist für die Erstellung einer 1:1-Replik nur mehr die Georeferenzierung oder die Definition eines Maßstabs wichtig. Nach der Vermessung von Referenzpunkten ist die Rohdatenaufnahme im Prinzip abgeschlossen.

¹⁸³ BROCKMANN 2019, 25.

¹⁸⁴ WESSLING ET AL. 2014, 1-2.

¹⁸⁵ VAN DAMME 2015, 13-16.

¹⁸⁶ WESSLING ET AL. 2014, 4-5.

Vom Foto zum Punkt

Im nächsten Schritt beginnt die digitale Berechnung des 3D-Modells am Computer. Die einzelnen Bildungsprozesse laufen in gängigen Programme größtenteils automatisch ab. Der Benutzer kann durch wenige Einstellungen zum gewünschten Ergebnis gelangen.¹⁸⁷

Am Anfang wird die Merkmalerkennung der einzelnen Bilder durchgeführt, das passiert über den *scale invariant feature transform* Algorithmus (SIFT) und den EXIF-Daten der Fotos.¹⁸⁸

Die Kombination ermöglicht Computern das automatische Erkennen und Vergleichen von unterschiedlichen Merkmalen in den Abbildungen. Das Resultat sind tausende Punkte pro Bild, das SIFT-Verfahren führt auf Basis dieser Punkte übereinstimmende Merkmale zusammen.¹⁸⁹

Um Verzerrungen im Bild auszugleichen, werden vom Computer „intrinsische Kalibrierungsparameter“ der Kamera ausgelesen, um die relativen Positionen zueinander zu berechnen. Das sind Werte wie der Standpunkt, die Tiefenschärfe, die Brennweite und die Quantifizierung der Linsenverzerrung.¹⁹⁰

In Folge dieser Analysen, ist es möglich, die Bilder relativ zueinander auszurichten. Dieser Schritt wird als *Feature-based Alignment* bezeichnet.¹⁹¹

Kamerapositionierung

Im Prinzip werden virtuelle Strahlen durch jeden Brennpunkt des Fotos auf das übereinstimmende Merkmal projiziert. Da es sich wieder um trigonometrische Berechnungen handelt, sind zur Positionierung mindestens drei Bilder nötig, am Strahlenschnittpunkt befindet sich die dreidimensionale Punktkoordinate des identen Merkmals. Dieser Vorgang wird für alle Fotos wiederholt und man erhält eine grobe Punktwolke, die *Sparse Point Cloud* und die zugehörigen relativen Kamerapositionen.¹⁹²

Diese Prozesse werden unter dem Begriff SfM zusammengefasst. Nach Erhalt der *Sparse Point Cloud* wird die Georeferenzierung durch Eintragen der Messpunkte oder Maßstäbe vorgenommen.

Multi View Stereo (MVS)

Der nächste Schritt wird als *Multi View Stereo* (MVS) bezeichnet.

Da die groben Kamerapositionen und Kalibrierungsparameter berechnet wurden, kann über weitere Abgleiche der Merkmale die Punktwolke verdichtet werden.

¹⁸⁷ BROCKMANN 2019, 25.

¹⁸⁸ VAN DAMME 2015, 13-16.

¹⁸⁹ VERHOEVEN 2011, 68; Siehe auch: WESTOBY ET AL. 2012, 301-303; DE REU ET AL. 2013, 1111; REMONDINO ET AL. 2012; VAN DAMME 2015, 13-16.

¹⁹⁰ BROWNE 2019a, 43.

¹⁹¹ VAN DAMME 2015, 13-16.

¹⁹² VERHOEVEN 2011, 68; Siehe auch WESTOBY ET AL. 2012, 301-303; DE REU ET AL. 2013, 1111; REMONDINO ET AL. 2012; VAN DAMME 2015, 13-16.

Vor allem in den Überlappungsbereichen werden die Punktkoordinaten optimiert und neue Features hinzugefügt. Wichtig sind dabei die Pixelwerte der Bilder.¹⁹³ Es werden mindestens drei Bilder für den MVS-Algorithmus verwendet.¹⁹⁴ Beim MVS handelt sich um einen sehr rechenintensiven Abschnitt. Es sollte also ein Computer mit starker Grafikkarte, genug RAM und Prozessorleistung verwendet werden.

Nach Abschluss des Prozesses entsteht eine stark verdichtete Punktwolke, die auch die endgültige Geometrie bildet.¹⁹⁵

Vom Punkt zum Mesh

Im vorletzten Schritt wird aus der dichten Punktwolke ein Mesh gebildet. Das Grundprinzip der Vermaschung ist die Verbindung aller Punkte, um eine durchgängige Oberfläche zu erhalten (Netzbildung). Einer der angewandten Algorithmen ist *Poisson Surface Reconstruction*, die auch bei „rauschenden“ Punktwolken sehr gute Ergebnisse liefert.¹⁹⁶

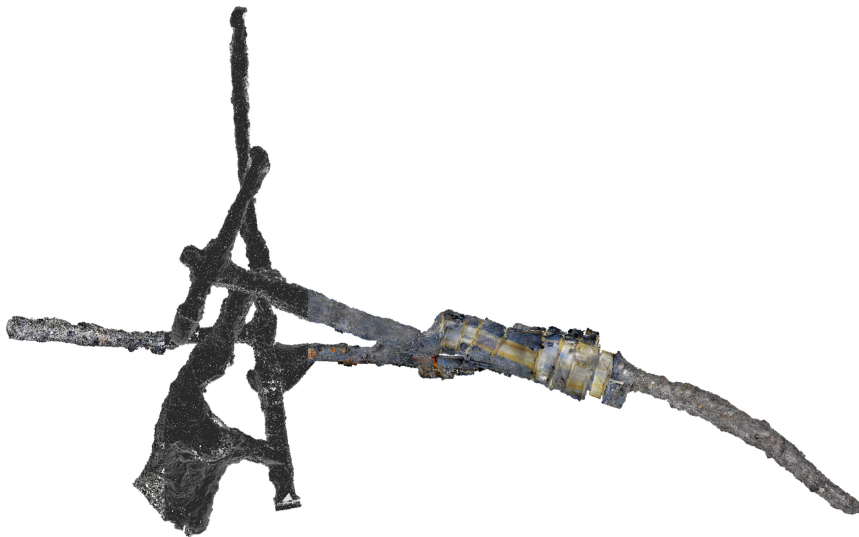


Abbildung 18: Die einzelnen IBM-Schritte an der Fundstelle dargestellt: Links - die Sparse Point Cloud, Mitte - die Dense Point Cloud, Rechts - das texturierte Mesh (Quelle: Erstellt vom Autor 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

¹⁹³ WESSLING ET AL. 2014, 6.

¹⁹⁴ VAN DAMME 2015, 13-16.

¹⁹⁵ VERHOEVEN 2011, 69; Siehe auch WESTOBY ET AL. 2012, 301-303; DE REU ET AL. 2013, 1111; REMONDINO ET AL. 2012; VAN DAMME 2015, 13-16.

¹⁹⁶ BROWNE 2019a, 43.

Nach der Texturierung ist das Endresultat ein fotorealistisches, polygonales 3D-Modell (Siehe Abb. 18).

Dabei handelt es sich um ein maßstabsgetreues, virtuelles Replikat von Landschaften, Objekten, Ausgrabungsschnitten, Architektur etc. Modelle dieser Art müssen oft aufgrund der enormen Größe dezimiert oder in anderer Form nachbearbeitet werden.¹⁹⁷

Als Archäologen sind wir verpflichtet, bei zerstörenden Methoden wie Grabungen die menschlichen Hinterlassenschaften so genau wie möglich zu dokumentieren.

Die 3D-Modelle sind eine extrem präzise Möglichkeit für die Bewahrung und Dokumentation kulturellen Erbes.

Die produzierten Daten eignen sich hervorragend für Interpretationszwecke, aber auch für die anschauliche Vermittlung von Forschungsergebnissen.¹⁹⁸

3.1.3 Stereo- oder Tiefenkameras

Eine weitere Methode der 3D-Dokumentation ist die Verwendung von *Stereo- und Tiefenkameras*. Diese Geräte verwenden aktive oder passive Aufnahmeverfahren. Manchmal werden diese auch kombiniert. Je nach gewähltem System erfolgt die Bildung der Punktwolken und Polygonnetze in Echtzeit.

Dies wird mittels Tiefen- und Farberkennung eines jeden Pixels durchgeführt.¹⁹⁹

Die Technik stammt ursprünglich aus der Spielindustrie und wurde erstmals von *Microsoft* in Kombination mit der *X-box 360* angeboten.

Der umgebende Raum und der Spieler werden dreidimensional erfasst. Mit Gesten und Bewegungen kann das Spiel gesteuert bzw. in den Ablauf eingegriffen werden.

Die aktuelle Version ist die *Kinect Azure*. Die Kamera verwendet *Time of Flight* (ToF) und RGB-D Sensoren.²⁰⁰

Das ToF-Prinzip wurde in der zweiten Version der *Kinect* zum ersten Mal angewendet.²⁰¹

Das Potenzial der Entfernungsmessung von Objekten durch Tiefenkameras wurde insbesondere auch im Industriebereich erkannt.

Die Einsatzbereiche und verwendeten Techniken haben starke Überschneidungen mit jenen des Image Based Modeling.

Mittlerweile sind ToF- und Stereokameras weit verbreitet und werden als nützliche Werkzeuge im Bereich der Photogrammetrie, Sicherheitstechnik, Navigation, Robotik und dem autonomen Fahren eingesetzt.²⁰² Auch zahlreiche Fertiglösungen sind in verschiedenen Preisklassen erhältlich.

¹⁹⁷ VERHOEVEN 2016, 8-9.

¹⁹⁸ WESSLING ET AL. 2014, 1-2.

¹⁹⁹ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

²⁰⁰ MICROSOFT 2019 (letzter Zugriff 09.09.2019).

²⁰¹ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

²⁰² HOU ET AL. 2011, 902-907; Siehe auch: ADI, WIDODO 2017, 24.

Die Entwicklung neuer Geräte schreitet rasant voran. Seit 2019 sind etliche Smartphones mit Tiefenkameras ausgestattet.²⁰³

Funktionsprinzip

Die eingebaute Messeinheit wird als RGB-D Sensor bezeichnet.

Das Time of Flight-Prinzip zur Berechnung der 3D-Oberfläche verwendet aktive und passive Methoden, die einzeln oder in Kombination mittels Infrarotsensoren und Stereofotografie funktionieren.²⁰⁴

Den aktiven Teil übernimmt ein Infrarotsender und -empfänger.

Es wird ein Punktgitter ausgestrahlt und dessen Verformung auf der auftreffenden Oberfläche gemessen. Dieses Verfahren liefert die Tiefeninformationen.

Die Messung funktioniert nur eingeschränkt bei Tageslicht, da sich das verwendete Infrarotspektrum mit dem des Sonnenlichts überschneidet.²⁰⁵

Die aktive Messung wird in ToF-Kameras hauptsächlich zur Distanzmessung und weniger für den Geometrieaufbau genutzt.²⁰⁶ Das Verfahren funktioniert ähnlich wie bei Streifenlichtscannern und wird als *Lichtcodierung* bezeichnet.²⁰⁷

Der passive Teil nutzt mindestens zwei Kameras zur Messung der Lichtintensität pro Pixel (*Stereoview*).

Es handelt sich dabei um sehr ähnliche Algorithmen, die auch beim maschinellen Sehen bzw. im IBM-Prozess eingesetzt werden.²⁰⁸

Es wird versucht, die Distanz der Kamera anhand der visuellen Informationen von jeweils zwei Bildern mit klar definiertem Abstand zu berechnen. Diese Fotos werden allgemein als Stereobilder bezeichnet.

Bei ToF-Sensoren wird die Zeitverzögerung des Lichtsignals gemessen und in Tiefeninformationen umgewandelt.²⁰⁹ Die Entfernung des Objekts zum Beobachter wird als Punktkoordinate über die Epipolarachse berechnet und mit x-, y-, z-Werten ausgegeben. Im Prinzip laufen im Hintergrund wieder trigonometrische Berechnungen ab.²¹⁰

„Neben ihrer Kosteneffizienz, Benutzerfreundlichkeit und Leichtbauweise sind solche Sensoren bei 3D-Rekonstruktionsforschern und -profis vor allem aufgrund ihrer Effektivität, eine detaillierte Szene in nahezu Echtzeit aufzunehmen, immer beliebter geworden.“²¹¹

Die Nachteile von RGB-D oder ToF-Kameras liegen bei den hohen Rauschwerten der erstellten Daten und Einschränkungen in der Auflösung des Modells und der Textur.

²⁰³ SAMSUNG 2019 (letzter Zugriff 10.09.2019); Siehe auch HUAWEI 2019 (letzter Zugriff 10.09.2019).

²⁰⁴ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

²⁰⁵ STANCO ET AL. 2016, 136-137.

²⁰⁶ SUKHLA 2015, 5-20; Siehe auch: ADI, WIDODO 2017, 24.

²⁰⁷ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

²⁰⁸ ADI, WIDODO 2017, 24.

²⁰⁹ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

²¹⁰ NAGAR, VERMA 2015, 2-25; Siehe auch: ADI, WIDODO 2017, 24.

²¹¹ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

Deshalb werden zum Beispiel im Bereich Architektur, Konstruktion und Technik eher andere Methoden gewählt, weil genaueste Messwerte gefordert sind. Auch bei der Dokumentation von Kulturgütern und Denkmälern sollte das vorher beachtet werden.²¹²

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

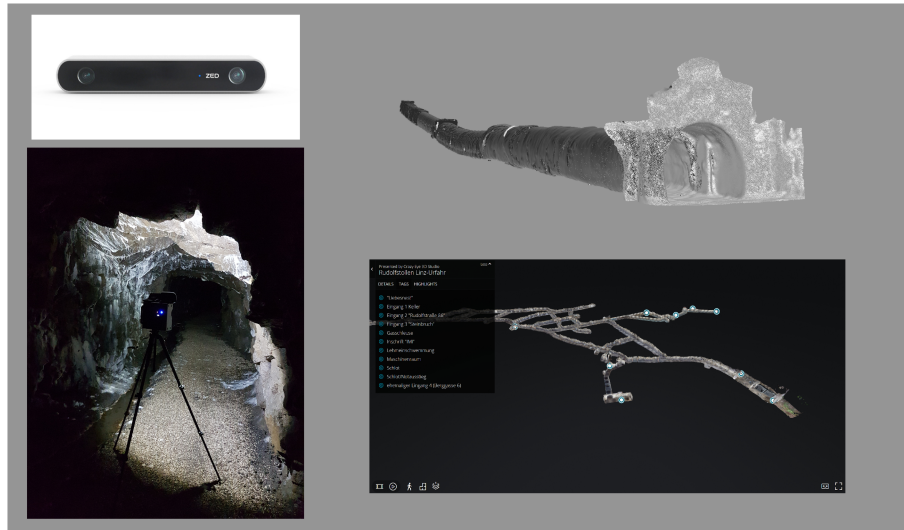


Abbildung 19: Ergebnisse aus Slam- oder ToF-Kameras. Links oben: Stereolabs ZED Kamera. Links unten: Matterport Pro Kamera. Rechts oben: Ergebnis ZED - Punktwolke Kaiserin Christina Stollen. Rechts unten: Ergebnis Matterport - Ca. 1,5 km 3D-Stollensystem dokumentiert (Quelle: Oben links: stereolabs.com/zed 2019; Unten: R. Skomorowski 2019, Crazy Eye OG und Novetus GesmbH; Oben rechts: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt 2017 produziert.)

Abhilfe schaffen hier *Simultaneous Localization and Mapping*-Algorithmen (SLAM).

Auch sie kommen ursprünglich aus der Robotik und dem virtuellen Sehen.

Der Unterschied besteht darin, dass zusätzliche Wegpunkte vom System gemerkt bzw. gespeichert und diese jederzeit erneut abgerufen werden können.

Das Endgerät kann also im Raum navigieren und sich eine Route anhand von Merkmalen speichern.

Deshalb eignen sich Tiefen- oder Stereokameras in Kombination mit SLAM Algorithmen für exakte Kartierungen, 3D-Vermaschung und Bildregistrierung (Siehe Abb. 19).²¹³

²¹² DERIS ET AL. 2017, 231-232 Siehe auch: GONZALEZ-JORGE ET AL. 2013, 1800-1806.

²¹³ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

Das wesentliche Merkmal von SLAM ist also die Möglichkeit der 3D-Dokumentation der Umgebung (Landmarks) in Echtzeit während der Aufnahmesensor in Bewegung ist (Extended Kalman Filter-EKF).²¹⁴

„Eine übliche SLAM-Pipeline kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Landmarkenextraktion
- Datenassoziation
- Statusschätzung
- Status- und Landmarkenaktualisierung“²¹⁵

Stereolab ZED-Kamera

In einer der Fallstudien von Hallstatt wurde eine ZED-Kamera von Stereolabs verwendet.²¹⁶ Dieses Kamerasystem ist sehr preiswert, hat wenig Gewicht und eine handliche Größe.

Das Prinzip der Tiefenerkennung beruht auf SLAM-Algorithmen und auf Stereovision bzw. Stereofotografie. Die ZED besteht aus zwei Kameraeinheiten mit einem kalibrierten Abstand von 120 mm. Der maximale Aufnahmebereich ist bis in eine Entfernung von ca. 20 m möglich. Die Erstellung des Polygonnetzes erfolgt in Echtzeit.²¹⁷

²¹⁴ DERIS ET AL. 2017, 231-232; Vergleiche auch: LEONARD, DURRANT-WHYTE 1991, 376-382.

²¹⁵ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

²¹⁶ STEREO LABS ZED 2019, (letzter Zugriff 07.09.2019).

²¹⁷ DERIS ET AL. 2017, 231-232.

3.2 Virtuelle Archäologie

3.2.1 3D-Rekonstruktion und Visualisierung

Die Nutzung und Erstellung digitaler 3D-Modelle von Kulturgütern, archäologischen Ausgrabungsstätten, Fundobjekten, Landschaften oder Denkmälern wurde seit einigen Jahren als nützliches Vermittlungswerkzeug immer stärker etabliert. Wie erwähnt ist die Erstellung von 3D-Daten auch von großer Bedeutung für die digitale Speicherung unseres kulturellen Erbes. Die Menge der Informationen, die aus dreidimensionalen Daten gewonnen werden können und die Möglichkeiten des *Post Processings* sind enorm groß.

Die Modelle können sehr breit eingesetzt werden, wie durch virtuelle Zeitreisen, Interpretationen von Rekonstruktionen, Visualisierungen und Animationen, in der Kriminalistik z.B. bei der Inspektion eines Tatorts, die Integration in ein Hologramm, erweiterte und virtuelle Realität, Spielentwicklung und wissenschaftliche Forschung.

Die Anzahl der angebotenen Softwarepakete zur Erstellung von 3D-Rekonstruktionen oder Animationen ist groß. Alle sind ähnlich aufgebaut und bieten gleiche Werkzeuge. Die Auswahl ist also dem Geschmack des Nutzers überlassen.

Einige Standardprogramme sind *Blender*, *Maya* oder *3D Studio Max* etc. Für Laien und Neueinsteiger ist das Erlernen dieser Programme oft mit einem großen Zeitaufwand verbunden.²¹⁸



Abbildung 20: Vom gezeichneten Plan zum fertig texturierten 3D-Modell (Quelle: Plan - W. Lobisser, 3D Modell - Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien)

Die Erstellung und Visualisierung von 3D-Rekonstruktionen muss immer an das gewünschte Endresultat angepasst werden. Dabei sollten in der Vorbereitung einige Schritte eingehalten werden, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten (siehe Abb. 20).

²¹⁸ RAHAMAN, CHAMPION 2019, 1835.

Auf Basis von vorher gesammelten 2D-Daten wie Plänen, Abbildungen, Skizzen und Beschreibungen wird versucht, ein möglich detailliertes Modell zu entwickeln.²¹⁹

Vor Beginn der Rekonstruktion wird empfohlen, ein Dreistufensystem anzuwenden.

Das heißt, die archäologischen und historischen Quellen so einzuteilen, dass auf Stufe 1 primäre Quellen wie Grabungsergebnisse, Geophysik, Freilegungen durch Erosion, aber auch alte Fotos und Ansichten von Gebäuden stehen.

Stufe 2 füllt die Leerstellen zwischen primären Quellen aus. Die Pläne werden mit den Wissenschaftlern diskutiert und die Lücken werden so genau wie möglich geschlossen, um zum Beispiel einen Überblick zur Gesamtsiedlung zu bekommen.

Auf Stufe 3 wird versucht, auf Basis von Schriftquellen, Rasteranalysen und Vergleichen mit anderen Fundstellen die restlichen Fehlstellen zu schließen. Die Rekonstruktion dieser erfolgt meist rein spekulativ.²²⁰

Auf Basis dieser Einteilung entsteht eine wissenschaftlich vertretbare Grundlage für die Rekonstruktion eines Befundes.

Im nächsten Schritt wird das Werkzeug bzw. das geeignete Programm gewählt. Im Laufe des Modellierens zeigen sich immer wieder andere Möglichkeiten der Gestaltung oder des Aufbaus. Während des gesamten Prozesses müssen die Entwürfe mit dem Befund abgeglichen werden, um sicher zu gehen, dass alle vorhandenen Fakten eingearbeitet wurden.²²¹

Nachnutzung und Potenzial von 3D-Modellen

Der Mehrwert eines 3D-Modells für die archäologische Forschung und Interpretation ist enorm. Für wissenschaftliche Analysen erfolgt am Ende aber meist wieder eine Rückführung in den 2D-Raum durch den Export von Grundrissplänen, Renderansichten, etc.²²²

Nachdem eine Basis erstellt wurde, ist das Modell jederzeit individuell erweiterbar bzw. bietet es die Möglichkeit der Anpassung an aktuelle Forschungsergebnisse.²²³ Zusätzlich stellt die 3D-Rekonstruktion auch die Basis für die Erstellung von Filmen und interaktiven Anwendungen wie z.B. Virtual Reality oder Animationen dar.

Verschiedene Darstellungsarten ermöglichen diverse Anwendungsbereiche.

Zum Beispiel können fotorealistische Renderings von Ansichten aus allen Perspektiven und Winkeln für Berichte oder Präsentationen verwendet werden (siehe Abb. 21).

Die untexturierten Varianten eignen sich für Diskussionen in Architektur und Konstruktion. Auch für Kleinobjekte, wie z.B. Modelle von Funden, sind untexturierte

²¹⁹ BROWNE 2019b, 62.

²²⁰ FRANZMEIER, HAGENAUER 2019, 31.

²²¹ SCHATTNER, RUIPEREZ 2019, 72-73.

²²² BROWNE 2019b, 62.

²²³ FRANZMEIER, HAGENAUER 2019, 31.

Darstellungen relevant, da oft die Oberflächenbeschaffenheit untersucht wird. Dabei ist die künstliche Ausleuchtung mit verschiedenen Lichtquellen, Farben und Positionen ein sehr hilfreiches Werkzeug.

So werden z.B. bei Keramikobjekten mögliche Inkrustierungen, Einkerbungen und Magerungselemente besser sichtbar. Dabei helfen auch die Veränderung der Materialeigenschaften. So können die Oberflächen glatt oder diffus dargestellt werden.

Die Außenlinien des Modells können als Vektorfiles ausgegeben werden, dadurch können Umzeichnungen von Objekten oder auch Gebäudepläne erstellt werden.

Orthogonale Ansichten von Funden können für Fototafeln und Umzeichnungen exportiert werden.

Einen großen Mehrwert haben referenzierte, dreidimensionale Daten auch im Bereich von Deformationsanalysen. Dabei werden mindestens zwei Modelle desselben Objekts aus unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten miteinander verglichen und differenziert. Mittels Farbskala können so veränderte Bereiche sichtbar gemacht werden.²²⁴

Die Anwendung dieser Analyseprozesse eignet sich vor allem zum Landschaftsvergleich von modernen ALS-Daten mit *historical DEMs*, die aus alten Luftbildern erstellt wurden.²²⁵



Abbildung 21: Texturiertes Landschaftsmodell aus DEM-Daten mit integrierten IBM-Modell der Dammwiese an der realen Position (Quelle: Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

²²⁴ BROWNE 2019b, 62.

²²⁵ SEVARA ET AL. 2017, 611-642.

3.2.2 Die Londoner Charta

Es handelt sich um die Definition von Standards, die bei der „computergestützten Visualisierung von kulturellem Erbe“ beachtet werden sollen.

Sie wurden im Jahr 2002 ausgehend von der Londoner King University erstmals von der *Virtual Archaeology Special Interest Group* (VASIG) und der *Cultural Virtual Reality Organisation* (CVRO) sowie mit weiteren Partnern aus den Fachbereichen betreffend Kulturgütern definiert und danach laufend weiter entwickelt.

Die Charta beschreibt Grundsätze und Richtlinien für die Nutzung und Verbreitung von Kulturvisualisierungen in Bezug auf „Nachhaltigkeit, Zugänglichkeit, Integrität, Dokumentation und Seriosität“.

Im nächsten Abschnitt folgt eine grobe Zusammenfassung der Inhalte.²²⁶

Zielsetzungen:

- „Eine Bewertung anzubieten [...]
- Intellektuell und technisch strikte Regeln [...]
- Sicherzustellen, dass computergestützte Visualisierungsverfahren und Resultate richtig verstanden und ausgewertet werden können [...]
- Zu ermöglichen, dass computergestützte Visualisierungen maßgeblich zu Studium, Interpretation und Verwaltung beitragen. [...]
- Sicherzustellen, dass Zugangs- und Nachhaltigkeitsstrategien festgelegt werden [...]
- Eine stabile Basis anzubieten [...]“²²⁷

Zur wissenschaftlich korrekten Visualisierung von Kulturgut wurden 6 Leitsätze bzw. Richtlinien definiert.

Leitsätze:

1. „Umsetzung:
Die Leitsätze der Londoner Charta sind überall dort gültig, wo computergestützte Visualisierungen in der Forschung oder Verbreitung von Kulturgut angewandt werden. [...]
2. Ziele und Methoden:
Eine computergestützte Visualisierungsmethode sollte normalerweise nur dann angewandt werden, wenn es die angemessenste verfügbare Methode für diesen Zweck ist. [...]
3. Forschungsquellen:
Um die intellektuelle Integrität computergestützter Visualisierungsmethoden und -ergebnisse zu gewährleisten, sollen relevante Forschungsquellen in strukturierter und dokumentierter Weise identifiziert und ausgewertet werden. [...]

²²⁶ DENARD ET AL. 2009, 2-3.

²²⁷ DENARD ET AL. 2009, 4.

4. Dokumentation:
Es sollen genügend Informationen dokumentiert und weitergegeben werden, um das Verstehen und Bewerten der computergestützten Visualisierungsmethoden und -ergebnisse in Bezug auf die Zusammenhänge und Absichten, für die sie eingesetzt werden, zu ermöglichen. [...]
5. Nachhaltigkeit:
Strategien zur Sicherung der langfristigen Zukunftsfähigkeit von kulturgutbezogenen computergestützten Visualisierungsergebnissen und Dokumentationen sollen geplant und umgesetzt werden, um Wachstumseinbußen dieses Zweigs an geistigem, sozialem, ökonomischem und kulturellem Erbe der Menschheit zu vermeiden. [...]
6. Zugang:
Die Erstellung und Verbreitung von computergestützter Visualisierung soll in einer Art und Weise geplant werden, die sicherstellt, dass maximal möglicher Gewinn für Studium, Verständnis, Interpretation, Erhaltung und Verwaltung von Kulturgut erzielt wird. [...]“²²⁸

3.2.3 Animation und Interaktive Anwendungen (VR, AR, MR)

Durch Animationen und Anwendungen in Bereichen wie Virtual-, Augmented- und Mixed Reality wurden die Möglichkeiten der verständlichen archäologischen Vermittlung massiv erweitert.

In Filmen können die bewegten Bilder zusätzlich mit Audio- und Textinhalten verknüpft werden und können dadurch komplexe Zusammenhänge veranschaulichen. Interaktive Anwendungen bieten ein sehr großes Potenzial, nicht nur für Vermittlung, sondern zum Beispiel auch im Bereich Interpretation und wissenschaftliche Diskussion.²²⁹

Animationen

Animation leitet sich ursprünglich vom lateinischen Wort *animatio* (das Beleben) ab.²³⁰ Das beschreibt den Prozess des Animierens schon sehr genau, weil z. B. bei Charakteranimationen Figuren scheinbar zum Leben erweckt werden.

Die ersten „Frame-by-Frame“-Animationen wurden in den 1960er Jahren entwickelt.

Ab den 1980er Jahren gab es die ersten Animationsprogramme, die für kommerzielle Firmen und Einzelanwender entwickelt wurden. Aufgrund dieser Entwicklung wurde die 3D-Animation intensiv genutzt und bereicherte Kino- und Werbefilme, Fernsehproduktionen und Musikvideos.²³¹

²²⁸ DENARD ET AL. 2009, 5-12.

²²⁹ BROWNE 2019b, 62.

²³⁰ DUDEN 2019e (letzter Zugriff 10.09.2019).

²³¹ DREHER 2019 (letzter Zugriff 09.09.2019); Siehe auch: AUZENNE 1994, 33-37.

In den letzten Jahren wurden die klassischen Cartoon- oder Trickfilme durch 3D-Animationsfilme großteils ersetzt.

Animationen bzw. Filme allgemein sind sehr gute Hilfsmittel im Bereich Wissenschaftskommunikation und Vermittlung. In Ausstellungen mit archäologischen Schwerpunkten werden sie eingesetzt, um zum Beispiel Ergebnisse der Feldforschung, Nachbardisziplinen, Verbreitungsdarstellungen, Befundinterpretationen etc. darzustellen (Siehe Abb. 22).²³²

Durch Animationen können zum Beispiel verwendete Quellen, die zur Erstellung einzelner Bereiche verwendet wurden, oder verschiedene Phasen der Siedlungsentwicklung sichtbar gemacht werden.²³³ Animationen eignen sich auch als Unterstützung bei der Ausstellung von Exponaten. Dadurch wird statischen Objekten wie Funden Leben eingehaucht. Mit dem Einsatz von Touchscreens kann man die Geschichte der Objekte auch interaktiv präsentieren.²³⁴



Abbildung 22: Animationsbeispiele aus Hallstatt - Werkzeuge der Wissensvermittlung (Quelle: Oben: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018, in Kooperation mit Terra Mater Factual Studios und der PA des NHM Wien. Unten: Vom Autor und A. Linzbauer 2019, ArchaeoBits: Hallstatt, Fotos Stiege - A. W. Rausch, NHM Wien.)

²³² LINZBAUER 2019, 101.

²³³ FRANZMEIER, HAGENAUER 2019, 31.

²³⁴ LINZBAUER 2019, 102.

Virtual Reality (VR)

Virtual Reality ist eine computergenerierte Simulation einer möglichst realistischen Erfahrung. Normalerweise wird die reale Welt ausgeblendet und vollständig durch eine „virtuelle“ Umgebung ersetzt.²³⁵

Eine andere Definition bezeichnet VR als eine digitale Simulation einer „Echtzeitumgebung“ mit integrierten interaktiven Elementen.²³⁶

Eine VR-Umgebung ist eine computergenerierte oder digitale, eher dreidimensionale Welt und ist Hilfsmittel zur Rekonstruktion und Präsentation von Architektur, Situationsaufnahmen, Objekten, etc.. Mittlerweile ist VR weit verbreitet und wird in Kunst, Wissenschaft und Technik eingesetzt.

Virtual Reality ist ein Weg, Besucher vollkommen in digital entworfene *Parallelwelten* eintauchen zu lassen (Siehe Abb. 23). Die geschaffenen Welten können statisch oder dynamisch sein. Ziel ist es, den Benutzer mit seiner körperlichen Anwesenheit bzw. Körpereinsatz vor allem visuell, aber auch sinnlich vollends in die Szene zu entführen.²³⁷

Die Visualisierungen beinhalten meist nicht nur einzelne 3D-Rekonstruktionen, sondern in einem archäologischen Kontext auch Fundmodelle, Landschaftsmodelle aus Satellitendaten, etc..²³⁸

Das heißt, dass über mehrere Ebenen Informationen in das Endprodukt eingearbeitet werden können. So ist es dem Benutzer selbst überlassen, wie tief er in den Inhalt eintauchen will. Auch das Erleben von geographisch weit entfernten Inhalten ist durch VR möglich.²³⁹

So kann der Benutzer quasi virtuell Reisen und manchmal sogar live an z.B Konzerten am anderen Ende der Welt teilnehmen.

Mithilfe von VR sollen „interaktive und immersive Erfahrungsprozesse“ gebildet werden.²⁴⁰ „Immersiv ist also die subjektive Empfindung der scheinbaren körperlichen Präsenz des Wahrnehmenden in einer in sich abgeschlossenen Wirklichkeit.“²⁴¹

In den letzten Jahren ist die Menge an 3D-Daten aus Dokumentationen und Rekonstruktionen von archäologischen Ausgrabungen enorm angestiegen.²⁴²

Diese eignen sich hervorragend als Grundlage für die Erstellung von multimedialen Visualisierungen in der Kulturvermittlung.²⁴³ Auch für Menschen mit eingeschränkter Mobilität besteht durch VR die Möglichkeit, Inhalte aus Wissenschaft und Forschung so realitätsnah wie möglich zu erleben.²⁴⁴

²³⁵ MANN ET AL. 2018, 1-3.

²³⁶ BROWNE 2019b, 63-65.

²³⁷ LINZBAUER 2019, 27.

²³⁸ BROWNE 2019b, 63-65.

²³⁹ LINZBAUER 2019, 27.

²⁴⁰ LEHMANN 2008, 168; WOHLFROMM 2002, 73-74; Siehe auch LINZBAUER 2019, 27.

²⁴¹ LEHMANN 2008, 169.

²⁴² LINZBAUER 2019, 27.

²⁴³ RUA, ALVITO 2011, 3296-3297; Siehe auch: LINZBAUER 2019, 27.

²⁴⁴ JIMENEZ FERNANDEZ-PALACIOS, MORABITO, REMONDINO 2017, 46; Siehe auch: RUA, ALVITO 2011, 3306; BRUNO ET AL. 2010, 42.

Game Engines sind Werkzeuge, die einen relativ leichten Einstieg in die VR-Entwicklung ermöglichen. In der Archäologie können so nicht mehr vorhandene oder zugängliche Stätten wie z. B. Bergwerke oder Höhlen aus dem Paläolithikum wieder betreten und erforscht werden.

Technik:

Die technischen Geräte liefern eine völlig neue Art der Wahrnehmung und Interaktion zwischen Benutzer und 3D-Modell. Häufig werden dafür VR-Brillen verwendet, die über einen Bildschirm und zwei Linsen, die vor den Augen getragen werden eine „stereoskopische Tiefenwahrnehmung“ auf den virtuellen Inhalt ermöglichen.

Der Unterschied zu herkömmlichen 3D- oder Shutterbrillen ist das Echtzeit-tracking. Position und Rotationsänderungen des Benutzers werden direkt in die virtuelle Umgebung übertragen. Somit kann sich der Anwender frei durch den Raum bewegen.

Mit getrackten Controllern ist sogar das Greifen und Interagieren mit Objekten möglich.

Erste Entwicklungen in Richtung Datenbankabfragen, VR-Abmessungen oder auch astronomische Simulationen sind vor allem für die Wissenschaft interessant.²⁴⁵

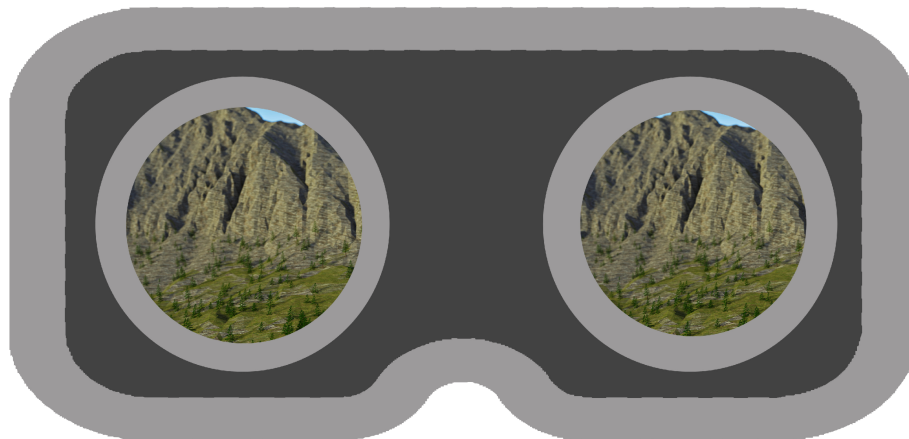


Abbildung 23: Mit VR-Anwendungen eröffnen sich neue Möglichkeiten in Forschung und Vermittlung (Quelle: Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

²⁴⁵ BROWNE 2019b, 63-65.

Augmented- und Mixed Reality (AR, XR, MR)

Augmented Reality ist ein ähnliches Konzept wie VR. Mit dem Unterschied, dass der computergenerierte Inhalt wird in die reale Welt eingebettet oder hinzugefügt wird.

Es geht um das gleichzeitige Erlebnis von realer Umwelt und digitalen Inhalten.²⁴⁶ Bei der erweiterten Realität wird im Vergleich zur virtuellen Realität eine vollständig virtuelle Welt oder Umgebung geschaffen. Bei AR werden Texte, Sounds, 3D-Modelle, Animationen etc. in die Realität projiziert und dadurch ein Teil davon.²⁴⁷

„Eine besondere Rolle spielt dabei der Körper, der als Austragungsort von wechselseitig aufeinander bezogenen Prozessen zwischen dem materiellen Geschehen im realen Raum einerseits und den Informationen der digitalen Umgebung, andererseits fungiert.“²⁴⁸

Einteilung und Technik

In AR-Systemen werden diverse Sensoren und Algorithmen mobiler Endgeräte verwendet, um die Position dieser exakt zu ermitteln.

Eine Art der Einteilung von AR- und MR-Entwicklungen erfolgt über die verwendete Hardware:

„*Head-Worn Displays* (die am Kopf getragen werden), *Handheld Displays* (die in der Hand gehalten werden) und *Spatial Displays* (räumlich).“²⁴⁹

Alle Systeme haben Vor- und Nachteile. Die Verwendung von Smartphones und Tablets im AR Bereich, ist durch die schon vorhandenen Sensoren und die alltägliche Nutzung am häufigsten vertreten.²⁵⁰

Eine weitere Unterteilung von AR-Entwicklungen kann in Standort-basierte Anwendungen, in Kombination mit Marker oder QR-Codes und SLAM basierte, gemacht werden.²⁵¹

Marker basiertes AR:

Es wird ein „Referenzmuster“ bzw. ein vorher definiertes Bild in einem Signaturprogramm als Marker definiert.²⁵²

Als Endgerät wird ein Smartphone oder Tablet benutzt. Die digitale Signatur des Markers und die Mustererkennung per Kamera sorgt für die exakte und stabile Positionierung des 3D-Modells.

Die Positionsbestimmung des Geräts muss permanent wiederholt werden, dass eine

²⁴⁶ AZUMA 1997, 355-385; MANN ET AL. 2018, 1-3.

²⁴⁷ BROWNE 2019b, 65.

²⁴⁸ LEHMANN 2008, 175; Siehe auch LINZBAUER 2019, 27; Siehe auch EINSPIELER 2012, 67.

²⁴⁹ LINZBAUER 2019, 28.

²⁵⁰ EINSPIELER 2012, 31; 70; Siehe auch LINZBAUER 2019, 28.

²⁵¹ BREINER ET AL. 2014, 123-124; Siehe auch LINZBAUER 2019, 28.

²⁵² BROWNE 2019b, 65.

stabile Bewegung rund um das Objekt möglich ist. Zusätzlich werden zur stabilen Ausrichtung auch noch Farbcodes aus der Umgebung genutzt.

Markerloses AR:

Bei dieser Methode kann der 3D-Inhalt auf jede beliebige gerade Fläche in der Umgebung projiziert werden. Durch Sensoren, wie das Gyroskop im Smartphone, kann sich der Benutzer in und auch rund um das Modell bewegen. Auch bei dieser Methode wird die Position laufend mit der Blickrichtung der Kamera korreliert (Siehe Abb. 24).

Ein Vorteil ist, dass man unabhängig von einem Marker agieren kann.

Getracktes AR:

In den 3D-Inhalt werden durch Programmcodes vorab geographische Koordinaten integriert. Diese werden dann laufend mit der GPS-Positionierung des Endgeräts abgeglichen. Kommt der Benutzer in die Nähe der realen geografischen Lage des GPS-Punktes, taucht das Objekt auf.

Diese Methode hat großes Potenzial für die Anwendung in Außenbereichen, wie bei Wanderungen, digitalen Erlebnistouren und AR-Ausflügen.²⁵³ Ähnlich funktioniert auch das Spielprinzip von Pokémon Go.²⁵⁴

Eine weitere Art der Positionierung erfolgt mittels SLAM oder anderen Algorithmen aus dem Feld der Computer Vision.²⁵⁵

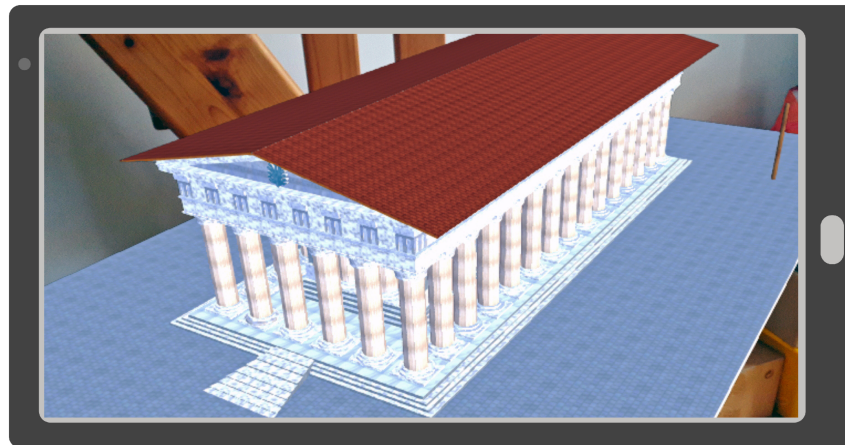


Abbildung 24: Beispiel für markerloses AR (Quelle: Vom Autor erstellt 2017, Crazy Eye OG)

²⁵³ BROWNE 2019b, 65.

²⁵⁴ POKEMON GO 2019, (letzter Zugriff 12.09.2019).

²⁵⁵ LINZBAUER 2019, 28.

Nutzungsbereiche

Für die Vermittlung von Forschungsergebnissen ist AR perfekt geeignet. Die Anwendungsbereiche sind immens und die Entwicklungen stehen erst am Anfang der vollen Entfaltung. Gerade im Bereich Kulturvermittlung und Archäologie ist es oft schwer Inhalte klar zu kommunizieren. Hier bietet AR einerseits einen Zugang über spielerisches Lernen und andererseits den schnellen Einstieg über den gewohnten Umgang mit dem Smartphone. Dadurch ist AR im Vergleich zu VR auch leichter in der Anwendung für alle Altersklassen. Im Museum können z.B. Einzelobjekte neu belebt werden und auf einfachen Weg ihre gesamte Entstehungsgeschichte erzählen.²⁵⁶

AR-Technologien werden schon in Bereichen wie Spielentwicklung, Edutainment, mobilen Applikationen, Navigationssystemen, Wissenschaftsvisualisierungen, Simulationen, Kunst und Kultur eingesetzt.²⁵⁷

In Ausstellungen und Museen wirken neue Technologien wie AR, VR, MR eher unterstützend. Ein Nachteil der Integration neuer Medien ist die stetige Weiterentwicklung, da Inhalte auf diesem Gebiet schnell nicht mehr dem aktuellen Stand entsprechen.²⁵⁸

Auch für die Spielentwicklung wird diese Technik genutzt. Eine der bekanntesten Entwicklungen ist *Pokémon Go*, das mit einer Beteiligung von Nintendo geschaffen wurde.²⁵⁹

Ein großes Potenzial steckt im Bereich Web-AR. Dabei können Inhalte rein über den Browser ohne Berücksichtigung des Betriebssystems abgerufen werden.

Mixed Reality

Mixed Reality ist eine Mischung aus AR und VR. Es erfolgen Wechsel zwischen realer und virtueller Welt in verschiedenen Proportionen entlang einer *Virtualitätsachse*.²⁶⁰ Augmented- und gemischte Realität existieren also entlang eines Kontinuums aus der Realität und den virtuellen Welten.²⁶¹

Bei AR- und MR-Technologien ist die Grenze fließend.

Bei beiden Varianten werden Inhalte, Medien oder Objekte mit der realen Umwelt des Individuums überlagert. Es werden ganz neue „intuitive und sensorische Navigationsmöglichkeiten“ in Bezug auf die Wahrnehmung von Objekten realisiert.²⁶²

²⁵⁶ BROWNE 2019b, 65.

²⁵⁷ EINSPIELER 2012, 67-69; Siehe auch LINZBAUER 2019, 28.

²⁵⁸ HAN, LI, ZHAO 2017, 395; Siehe auch LINZBAUER 2019, 28.

²⁵⁹ POKEMON GO 2019, (letzter Zugriff 12.09.2019).

²⁶⁰ MANN ET AL. 2018, 1-3.

²⁶¹ MILGRAM ET AL. 1994, 283-285.

²⁶² LINZBAUER 2019, 27.

Game Engines

Eine Game Engine ist ein Softwarepaket, das ursprünglich für die Entwicklung von 3D- oder 2D-Computerspielen, interaktiven Anwendungen und sekundär auch für Animationen, Modellierung etc. entwickelt wurde.

Game Engines eignen sich aber auch hervorragend für die Erstellung von wissenschaftlichen Simulationen oder Anwendungen im Bereich Architektur und Konstruktionstechnik.²⁶³

Die Softwarepakete bestehen im Einzelnen aus folgenden Komponenten:

„Rendering-, Physik-, Sound und Skript Engines“.²⁶⁴ Letztere ist für die Programmierung bzw. das Einbinden fertiger Code Segmente zuständig.

Aktuell gibt es eine Fülle verschiedener Arten von Game Engines, die je nach Hersteller in ihren Eigenschaften und Werkzeugen variieren.

Eines der wichtigsten Eigenschaften ist die Renderengine. Diese kommuniziert als Schnittstelle zwischen Grafikkarte und Programm und sorgt für die Ausgabe von 3D-Meshes, Materialien und weiterer Elemente.

Die Physik Engine beinhaltet grundlegende physikalische Gesetze, die dann auf Objekte übertragen werden können. So ist es möglich, diverse Naturgesetze wie beispielsweise jene von Newton, einfach auf einzelne Spielobjekte zu übertragen. So wird verhindert, dass eine Spielfigur durch die umgebende Landschaft fällt und auch beim Springen die Gesetze der Gravitation gelten.

Durch den Einsatz von Licht und Schatten können direkt in der Engine verschiedene Möglichkeiten der Oberflächendarstellung erstellt werden.

Die Audio- oder Sound Engine sorgt für den realistischen Klang und das Echo je nach Umgebung.²⁶⁵

Die im Folgenden präsentierten Game Engines haben sich klar gegen die Konkurrenz durchgesetzt und bieten den Vorteil, dass sie bis zu einem gewissen Umfang kostenfrei benutzt werden können.

Zusätzlich sind sie durch ihren logischen Aufbau schnell erlernbar und bieten alle Möglichkeiten moderner Spielentwicklung.

Unity Engine

Die Unity 5 Engine wurde erstmals 2015 von Unity Technologies vorgestellt. Bei Unity handelt es sich um eine Game Engine die seit 2005 laufend weiter entwickelt wurde. Die aktuellste Version ist Unity 2019.1.²⁶⁶ Die Engine beinhaltet alle zuvor beschriebenen Werkzeuge und ist als „Multi-Plattform Entwicklungsumgebung“ entwickelt worden. Das heißt, dass ein Export auf allen zurzeit typischen Betriebssystemen und Plattformen möglich ist.²⁶⁷

²⁶³ GORA, LEIBETSEDER 2016, 1-3.

²⁶⁴ GORA, LEIBETSEDER 2016, 1.

²⁶⁵ GORA, LEIBETSEDER 2016, 1-3.

²⁶⁶ KROGH-JACOBSEN 2019 (letzter Zugriff 28.09.2019).

²⁶⁷ GORA, LEIBETSEDER 2016, 1-3; Siehe auch KROGH-JACOBSEN 2019 (letzter Zugriff 28.09.2019).

Unreal Engine 4

Die Unreal Engine 4 wurde 2012 von Epic Games entwickelt. Sie wurde aus dem *Unreal Development Kit* (UDK) entwickelt. Ältere Versionen der Engine waren eher auf die Entwicklung von First-Person Shootern bzw. Spiele aus der Ich Perspektive abgestimmt.²⁶⁸

Heute handelt es sich um eine voll ausgereifte Entwicklungsumgebung, die in allen Bereichen der digitalen Visualisierung von Spielen bis zu Filmen, eingesetzt wird. Auch bei der Unreal Engine 4 handelt es sich um eine Multi-Plattform Entwicklungsumgebung.²⁶⁹ Ein großer Mehrwert ist die fotorealistische Darstellung, der einfache Export von 360 Grad Videos oder anderer VR Anwendungen.²⁷⁰

Fazit-Auswahl der Game Engine

„Schlussendlich kann man zur Content-Pipeline der beiden Engines sagen, dass Unity eine deutlich höhere Anzahl an externen Datei-Formaten unterstützt und vor allem durch das eher einfach und kompakt gestaltete Interface besonders angenehm für Einsteiger ist während Unreal Engine 4 im ersten Moment mit ihrer überwältigen Auswahl an Asset- Einstellungen abschreckend wirkt, jedoch dem erfahrenen Nutzer deutlich mehr Spielraum überlässt.“²⁷¹

²⁶⁸ EPIC UNREAL ENGINE 2019 (letzter Zugriff 28.09.2019).

²⁶⁹ GORA, LEIBETSEDER 2016, 2.

²⁷⁰ CODINA ET AL. 2019, 52.

²⁷¹ GORA, LEIBETSEDER 2016, 11.

4 Fallstudien zur Methodik am Beispiel Hallstatt

4.1 Überblick zur archäologischen Dokumentation

Die angewendeten Dokumentationsarten im Bergwerk und Hochtal von Hallstatt stellten schon seit Beginn der Forschungen eine besondere Herausforderung dar, waren aber immer schon sehr fortschrittlich und modern. Das wird auch an den aus dem 19. Jahrhundert stammenden Plänen, Aquarellen und Skizzen der Grabungen auf der Dammwiese und vom berühmten Gräberfeld von Hallstatt deutlich.²⁷² Aufgrund der zerstörerischen Wirkung von Grabungen und der nahezu perfekten Erhaltungsbedingungen wurde am Fundort Hallstatt laufend auf moderne und kontinuierliche Weiterentwicklung im Bereich der archäologischen Dokumentation der Funde und Befunde geachtet.

Im Folgenden soll ein Überblick der rasanten Entwicklung der letzten 20 Jahre im Bereich Christian-von-Tusch-Werk gegeben werden.

Die Einführung eines digitalen Tachymeter ermöglichte die erste Sammlung von 3D-Punktkoordinaten und markiert damit genau genommen den eigentlichen Ursprung der 3D-Dokumentation im Bergwerk. Diese gesammelten Vektordaten, bestehend aus Polygonen, Linien und Punkten, bildeten die Grundlage zum Aufbau einer Geodatenbank und der lagegerechten digitalen Speicherung der Funde und Befunde aus dem gesamten Grabungsbereich.

Bis heute sind der Tachymeter und eine laufende Weiterentwicklung des damals erstellten GIS-Projekts auf den archäologischen Grabungen von Hallstatt unverzichtbare Bestandteile. In der Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk werden jedes Jahr neu aufgedeckte Hölzer, Referenzpunkte für Fotomosaik, etc. eingemessen und in die Datenbank integriert. Zusätzlich zur Vermessung wird in Hallstatt schon seit mittlerweile fast 20 Jahren mittels digitaler Fotografie bzw. Fotogrammetrie und terrestrischen Laserscannern gearbeitet.²⁷³

Die Lösung vieler Fragestellungen im Bereich des prähistorischen Bergbaus versteckt sich in den Profilen der 80-100 cm breiten Stollen. Die Profile haben je nach Vortrieb eine Gesamtlänge von ca. 10-20 m.

²⁷² KERN 2008, 116-123.

²⁷³ LOECKER 2008, 204.

Um diese zu dokumentieren wurden neben Handzeichnungen auch Fotomosaik aus teilweise hunderten Einzelbildern angefertigt.²⁷⁴ Schon im Jahr 2000 wurde in Hallstatt im Bereich der eisenzeitlichen Fundstelle „Kernverwässerungswerk“ ein erster Versuch zur Anwendung dieser fotogrammetrischen Methoden durchgeführt. Nach dem erfolgreichen Abschluss wurde diese Dokumentationsmethode bis zum aktuellen Zeitpunkt als Standard etabliert.²⁷⁵

Bei der Erstellung der Mosaik werden hunderte sich überlappende Einzelfotos mit jeweils vier Referenzpunkten pro Bild erstellt. Über diese Punkte, an denen sich jeweils zwei Bilder überschneiden, wird jedes Foto lagegerecht entzerrt, das heißt ein „maßstabsgetreues Bild mit genauen Lagekoordinaten“ wird errechnet (Siehe Abb. 25). (RAUSCH 2008, 206) Zu den bewährten und immer noch genutzten Techni-

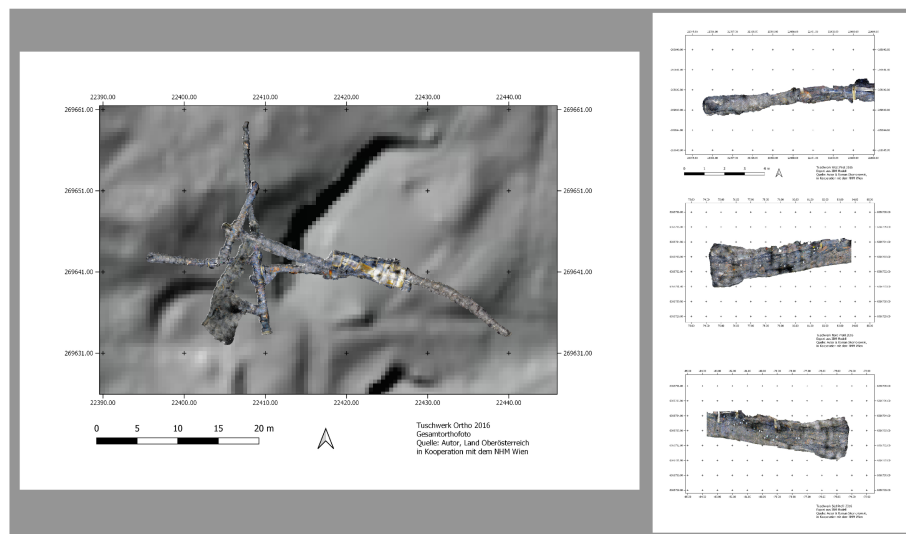


Abbildung 25: Aus dem 3D-Modell exportierte Fotomosaik. Links: Orthofoto Grundriss Christian-von-Tusch-Werk. Rechts: Beispilexport Westvortrieb: First, Nord- und Südprofil (Quelle: Erstellt vom Autor 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

ken zählen die händische Vermessung mittels „Schnurzeug“ und Distanzmessung zu einem bekannten Messpunkt und die zeichnerische Dokumentation, welche sich als Teil der Nachbearbeitung der Fotomosaik etabliert hat.

Beide Dokumentationsarten bieten gewisse Vorteile. Bei der Anfertigung einer Zeichnung wird viel Zeit mit dem zu dokumentierenden Bereich verbracht. Zusätzlich wird dabei schon eine erste Interpretation dargestellt. Die Vorteile der Fotomosaik liegen hingegen im hohen Auflösungsgrad und der Genauigkeit. Ein

²⁷⁴ RAUSCH 2008, 206.

²⁷⁵ RAUSCH 2007, 109-118.

Foto gibt auch alles Sichtbare gleichwertig wieder.²⁷⁶

Auf jeder archäologischen Grabung ist der Aufbau eines Vermessungsnetzes wichtig. Die Vermessung im Christian-von-Tusch-Werk konnte direkt in das System der Salinen Austria AG integriert werden.

Wie erwähnt werden alle vorhandenen Vektor- und Rasterdaten in einem angelegtem GIS-Projekt in der *MGI Austria GK Central-31255* Projektion gesammelt und ermöglichen die Ausgabe einer dreidimensionalen Gesamtdarstellung. Aufgrund der Umstände unter Tage kann nur so ein Überblick über die Fundstelle ermöglicht werden. So können alle dokumentierten Hölzer und Funde auf einen Blick ausgegeben werden. Es ist ein unverzichtbares Werkzeug zur wissenschaftlichen Interpretation und Diskussion über den Gesamtbefund.²⁷⁷

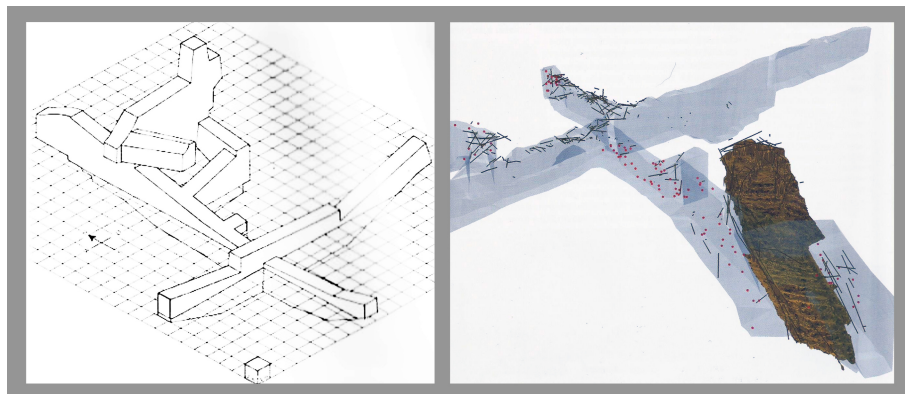


Abbildung 26: Erste dreidimensionale Visualisierungen als Hilfsmittel zum besseren Verständnis. Links: Das Kilbwerk, rechts: Christian-von-Tusch-Werk, mit erstem Laserscan der Stiege (Quelle: Links - F. E. Barth 1989, SALINEN AUSTRIA; Rechts: K. Löcker, NHM Wien)

Erste Ansätze moderner 3D-Visualisierungen wurden in Hallstatt sehr früh angefertigt. Schon in den 1980er Jahren wurde von F. E. Barth ein schematisches 3D-Volumendiagramm mit dem Verlauf und dem Volumen der Vortriebsstollen im *Kilbwerk* von 1961-1981 angefertigt. Schon damals diente die Darstellung zum besseren Verständnis und der Vermittlung (Siehe Abb. 26 links).²⁷⁸

An der Fundstelle *Grünerwerk* wurde in mühsamer Arbeit mittels reflektorloser Distanzmessung ein Oberflächenmodell des Hohlraums, bestehend aus 10.000 Punkten angefertigt. Die Punkte können danach zu einer 3D-Oberfläche interpoliert werden.

²⁷⁶ RAUSCH 2008, 206-207.

²⁷⁷ LOECKER 2008, 204-205.

²⁷⁸ BARTH 1989, 59.

Ab ca. 2005 kamen auch im Bereich der Bergwerksvermessung verstärkt terrestrische Laserscanner auf. Im Prinzip funktioniert die Messung wie bei der händischen Variante mittels Tachymeter, nur dass beim TLS pro Messung mehrere Millionen Punkte aufgenommen werden. Dieses Verfahren ist perfekt für die Hohlraumvermessung im Berg geeignet. Vor allem im Bereich der Stiege und im *Stügerwerk* (eisenzeitliche Fundstelle mit Abbauherzen) wurden die ersten Punktwolken mit Laserscannern angefertigt (Siehe Abb. 26 rechts).²⁷⁹ Laserscanner werden von den Salinen Austria AG bis heute im gesamten modernen Bergbau und in den prähistorischen Abbaubereichen zur Hohlraummessung eingesetzt.

Zusätzlich werden im Christian-von-Tusch-Werk seit 2014 bis heute hochauflösende 3D-Modelle mittels IBM-Technologien erstellt.²⁸⁰ Aufgrund der guten Ergebnisse und den Entwicklungen der letzten Jahre wird diese Methode auch standardmäßig von den Archäologen des NHM Wien eingesetzt. Einer der vielen Vorteile dieser Dokumentationsart gegenüber den Laserscans ist wie bei den Fotomosaiken die extrem hohe Auflösung der Textur und die erwähnten geringen Kosten der Rohdatenerstellung.

²⁷⁹ NEUBAUER 2008, 208-209.

²⁸⁰ RAAB 2015 (letzter Zugriff 16.09.2019); Siehe auch: LINZBAUER, RAAB 2018 (letzter Zugriff 30.09.2019).

4.2 Fallstudie 01: Bergwerk, 3D-Modell Christian-von-Tusch-Werk

Ausgangslage

Seit ca. 2011 sind immer mehr Artikel und Berichte zur Nutzung von IBM-Methoden in der Archäologie verfasst worden.²⁸¹ Nach ersten Versuchen des des Autors unter Anwendung dieser Methoden entstand 2014 die Idee, in Hallstatt erste Tests zur Eignung von bildbasierter 3D-Dokumentation unter Tage zu versuchen. Es sollten Charakteristika wie die Tauglichkeit, der Zeit- sowie Kostenaufwand, die Vorteile für Hohlraumvermessungen und der Mehrwert für die Montanarchäologie im Allgemeinen überprüft werden.

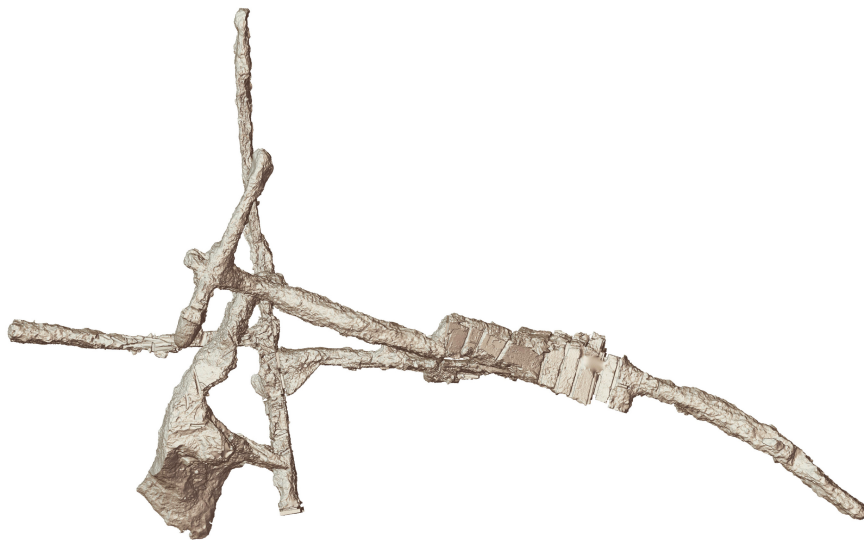


Abbildung 27: Schummerungsdarstellung des aus dem 3D-Modell exportierten Grundriss DEM.
(Quelle: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

²⁸¹ REMONDINO, RIZZI 2010, 85.

Für die Durchführung der Testreihen von 2014 wurden zwei Vortriebe ausgewählt:

- Das *Westend* - Aufgrund der guten Beleuchtungssituation und des großen, stabilen Hohlraums.
- Der *Westvortrieb* - Dieser Bereich wurde aus mehreren Gründen ausgewählt. Es handelt sich um einen sehr schmalen Stollen, eine sehr gut sichtbare Abfolge der relevanten Schichten und eine große Menge an vorhandenen Berghölzern, Pickelstielen, Schäftungen, etc..

Nach der Rohdatenaufnahme vor Ort, bestehend aus der Anfertigung von hundert Einzelphotos und dem Einmessen zugehöriger Referenzpunkte, wurden die Fotos aus beiden Testbereichen mittels IBM-Software zu fertigen 3D-Modellen gerechnet. Die Ergebnisse waren sehr überzeugend, folglich wurde vom Autor gemeinsam mit der prähistorischen Abteilung des NHM Wien der Plan entwickelt, ab 2015 alle Vortriebsstollen der bronzezeitlichen Fundstelle im Zuge der hier vorgelegten Arbeit zu dokumentieren.

Eines der Hauptziele bestand darin, mittels einem hochauflösendem, maßstabsgetreuem und referenziertem 3D-Abbild des Christian-von-Tusch-Werk einen noch besseren Gesamtüberblick zu schaffen (Siehe Abb. 27).

Das Modell sollte auch eine Grundlage für Anwendungen im Bereich Vermittlung und die Integrationsmöglichkeit von neu produzierten 3D- und Rasterdaten der laufenden Untersuchungen bieten.

In jedem Jahr finden die Bergwerksgrabungen des NHM Wien in Kooperation mit der Salzwelten GesmbH statt. Bei der laufenden Dokumentation entstehen z.B. neue Abschnittsmodelle die einfach in das bestehende Gesamtmodell integriert werden sollen.

Das fertige 3D-Abbild des Christian-von-Tusch-Werks bietet eine große Anzahl von Vorteilen, z.B. dass beliebig große Bereiche von Profilen oder Flächen als Orthofotos, Umzeichnungen am Modell oder als DEMs schnell exportiert und bearbeitet werden können. Diese Option besteht direkt vor Ort und kann schnell z.B. als Diskussionsgrundlage aktueller Forschungsfragen erstellt werden.

Die Erwartungen und Ziele an das Ergebnis der 3D-Dokumentation waren hauptsächlich als Mehrwert oder Hilfsmittel zur aktiven, wissenschaftlichen Untersuchung gedacht.

Es sollte vor allem als Werkzeug für die archäologische Interpretation und zur Produktion von Raster- und Vektordaten für das bestehende GIS-Projekt dienen.

Die Möglichkeiten und das Potenzial des erstellten 3D-Modells im Bereich der Vermittlung durch Animation oder interaktive Anwendungen wie z.B. in Spielen, Virtual Reality etc. wurden während der Planung noch nicht erkannt.

Im Laufe der Durchführung des Projekts änderte sich der Schwerpunkt in diese Richtung und es wurden Konzepte und Ideen zur Weiterverarbeitung entwickelt. Die Ausgrabungen unter Tage sind kein einfacher Ort, um 3D-Modelle mittels bildgebender Verfahren zu produzieren. Die Stollen haben meist nur eine Breite

von 80-100 cm, weiters gibt es sehr feuchte und dadurch reflektierende Bereiche. Manche der Vortriebsstollen wurden seit längerer Zeit nicht mehr aktiv untersucht, deshalb war eine Sanierung im Vorfeld nötig.

Aufgrund der ständigen Dunkelheit mussten vorab geeignete Lichtverhältnisse für die großflächige Dokumentation geschaffen werden.

Zusätzlich kam die Gefahr durch *Verbruch* in einigen Bereichen des Tagmaterials hinzu, die aufgrund der veränderten Oberfläche zu einer Neuaufnahme einzelner Abschnitte führte. Die Ulmen bzw. die Profile mussten vorab *fein geputzt* werden, um eine möglichst ungestörte Sicht auf die Schichten und dadurch eine wirklich geeignete Grundlage zur archäologischen Interpretation zu ermöglichen.

Das Gesamtprojekt sollte technisch mit den auf der Grabung vorhandenen Mitteln umgesetzt und dadurch so kostenneutral wie möglich sein.

Die hier wiedergegebenen Probleme und Planungen vor Beginn der großflächigen Rohdatenaufnahme sollen eine Hilfestellung für ähnliche Projekte unter Tage darstellen.

Für den Start der systematischen Aufnahme wurde der Bereich *Ostvortrieb* gewählt. Bei diesem Suchstollen sollte die Ausdehnung der bronzezeitlichen Abbauhalle in Richtung Osten geklärt werden. Der angelegte Stollen verläuft mitten durch das Tagmaterial. Aufgrund der großen Instabilität des Suchstollens und des damit einhergehenden konstanten Sanierungsaufwand wurde er ab 2016 bis auf unbestimmte Zeit still gelegt.

Durchführung

Vorab ist zu erwähnen, dass dieses Großprojekt nicht ohne die Unterstützung der Salinen Austria AG und des gesamten Ausgrabungsteams des NHM Wien aus den Jahren 2014, 2015 und 2016 möglich gewesen wäre.

Dokumentation Herbst 2015: *Ostvortrieb*

Nach den erwähnten Planungen und der Konzeptentwicklung wurde ab der Herbstsaison 2015 mit der systematischen Aufnahme im Bereich des Ostvortriebs begonnen (Siehe Abb. 28).

Nach dem groben Sanieren bzw. herrichten des Stollens mittels Presslufthammer wurden mit feineren Geräten wie z.B. Kratzen und Kellen die stratigraphischen Einheiten frei geputzt.

Primäre Ziele der Gesamtaufnahme waren die Klärung der teilweise komplizierten Schichtverläufe, vor allem im Tagmaterial der prähistorischen Mure und die Verfeinerung der dazugehörigen Matrix.

Der Ostvortrieb hat eine Gesamtlänge von 14,7 m. Zur Vermessung und Referenzierung des Modells wurde an den Nord- und Südprofilen ein rechteckiges Raster (ca. 1,7 x 2,5 m) aus jeweils 6 rot bemalten Nägeln fortlaufend angelegt. Für den Ostvortrieb wurden insgesamt 36 Messnägeln verwendet. Am Ende der Vorbereitungsmaßnahmen wurden von allen Seiten Zeichnungen und Orientierungsskizzen angefertigt, um die Punkte wieder korrekt zuzuordnen.

Für die fotografische Dokumentation wurde am Beginn der Arbeiten die vorhandene Grabungskamera *OLYMPUS E-30* verwendet, mit einem Standard Weitwinkelobjektiv. Die Kamera war zum Zeitpunkt der Aufnahmen nicht mehr das aktuellste Modell, aber aufgrund des lichtstarken Sensors und dem geringen Rauschen bei hohen ISO-Werten hervorragend für die Dokumentation unter Tage geeignet.

Beim Erstellen der Fotoserien wurde ähnlich der empfohlenen Vorgangsweise bei Innenräumen vorgegangen.

Im ersten Schritt wurden das Nord- und Südprofil dokumentiert. Im Anschluss folgten der Bodenbereich und der First (Decke). Zusätzlich wurden noch einige perspektivische Überblicksaufnahmen von mehreren Seiten mit großem Bildausschnitt gemacht, um die Verbindung der Fotos zu erleichtern. Die Enge des Stollens in diesem Bereich stellte eine große Herausforderung dar. Die Anzahl der Einzelfotos wuchs enorm an, da trotz des verwendeten Weitwinkelobjektivs aufgrund des Platzmangels nur ein sehr kleiner Bereich pro Foto erfasst werden konnte.

Erste Versuche 2014 haben gezeigt, dass die Dokumentation und Ausleuchtung mittels Standardblitz aufgrund des geringen Abstands eher schlecht geeignet ist. Lösungen wie Ringblitze sind sicher besser geeignet, wurden aber in dieser Arbeit nicht getestet.

Um eine gleichmäßige und flächige Ausleuchtung zu gewährleisten, wurden am Beginn der ersten Dokumentationsarbeiten herkömmliche Bauscheinwerfer auf Stativen für indirektes Licht verwendet, als direkte Beleuchtung richtete ein Mitarbeiter der Grabung einen zusätzlichen Taglichtscheinwerfer auf den zu fotografierenden Bereich. Bis zum Abschluss des gesamten Ostvortriebs wurden ca. 2.800 Fotos erstellt.

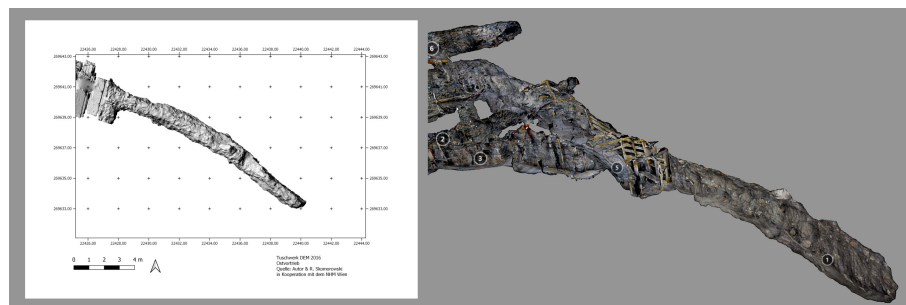


Abbildung 28: Lage des *Ostvortriebs* im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Dokumentation Herbst 2015: Bereich *Stiegenkammer*

Die sogenannte *Stiegenkammer* ist neben dem Westend der größte, künstlich geschaffene Hohlraum, der in der Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk durch wissenschaftliche Untersuchungen angelegt wurde. Dieser Bereich war für die 3D-Dokumentation von großer Bedeutung, da es sich um den in situ Fundort der bronzezeitlichen Holzstiege handelt (Siehe Abb. 29).²⁸² Zum Zeitpunkt der Aufnahme im Jahr 2015 war die Stiege schon an ihren derzeitigen Standort im Schaubergwerk Salzwelten transportiert worden. Durch die Fotos von A. Rausch wurde aus den alten Daten mittels IBM-Methoden ein 3D-Stiegenmodell gerechnet, welches in z.B. Animationen wieder am Originalfundort eingeblendet wurde. Zusätzlich waren 2014 die gesamten Stiegenteile von S. Štuhec mit einem Streifenlichtscanner dokumentiert worden. Diese Arbeiten waren in Kooperation mit dem Ludwig Boltzmann Institut für archäologische Prospektion und virtuelle Archäologie durchgeführt worden.²⁸³

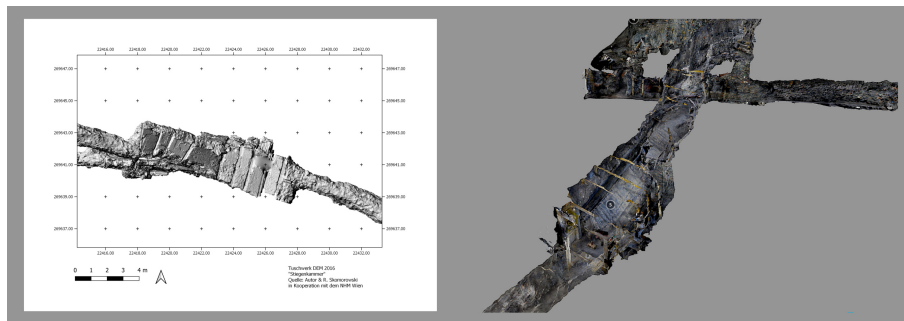


Abbildung 29: Lage der *Stiegenkammer* im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Bei der Ausgangssituation von 2015 waren die Abdrücke jedes einzelnen Bauteils und der hölzerne Unterbau dieses einzigartigen Fundobjekts vorhanden. Der geschaffene Hohlraum im Berg hat einen Grundriss von maximal ca. 10 x 3,5 m. Aufgrund des größeren Arbeitsraums rund um die Stiegenfundstelle konnten größere Bildausschnitte pro Bild verwendet werden, dadurch wurde dieser Bereich schneller und mit einer geringeren Anzahl an Fotos abgeschlossen. Vor Beginn der Dokumentation wurde in diesem Abschnitt auf eine *NIKON D5300* gewechselt. Da die originalen Abdrücke der Stiegenteile so wenig wie möglich beeinträchtigt bzw. betreten werden sollten, war dieser Abschnitt schwierig und das entwickelte

²⁸² BARTH, RESCHREITER 2005, 27-32.

²⁸³ RESCHREITER 2014 (letzter Zugriff 30.09.2019).

Dokumentationsschema musste neu überarbeitet werden.

Die Lösung waren Teleskopstangen, die sich als sehr gutes Hilfsmittel für die Senkrechtaufnahmen bei Befundbereichen, wo besondere Vorsicht geboten war, herausstellten. Ansonsten wurde der Dokumentationsvorgang gleich wie im Ostvortrieb durchgeführt (Anlegen des Vermessungsrasters, der Lageskizzen, etc.).²⁸⁴

Die monotonen Farben der Bretter und Verzimmerungen im Firstbereich stellten eine Herausforderung in der Nachbearbeitung der Daten dar. Aufgrund der einfarbigen Oberflächen war es für die automatisierten Algorithmen nicht leicht genügend Vergleichsmerkmale zu finden. Deshalb wurde ein Teil des Firstbereichs manuell verbunden.

In dem Bereich rund um den Fundort der Stiege befindet sich die Kreuzung von mehreren Vortrieben. Auf der unteren Ebene kommen von Westen die Vortriebe 3 und 1 durch die fundführenden Schichten des bronzezeitlichen *Abfallhaufens* an. Dieser klare Anknüpfungspunkt wurde für das Ende der Rohdatenaufnahme des gesamten Modells gewählt.

Dokumentation Herbst 2015: *Vortrieb 6*

Auf der höher gelegenen Ebene, also in der Verlängerung der Stiege, folgend der letzten Nutzungsoberfläche vor der Katastrophe wurde ein Verbindungsstollen in den Bereich Richtung *Westend* geschaffen.

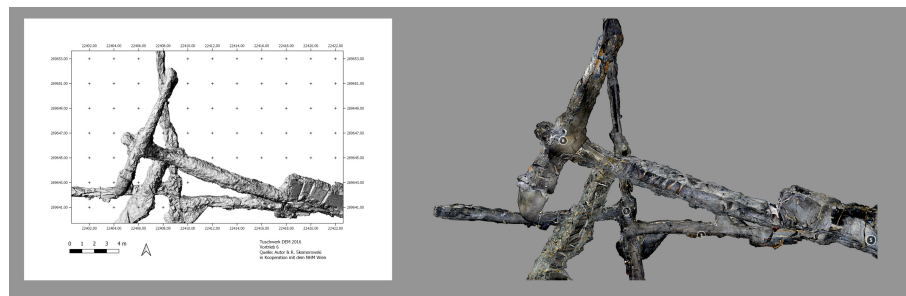


Abbildung 30: Lage des *Vortrieb 6* im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Dieser Abschnitt wird als Vortrieb 6 bezeichnet (Siehe Abb. 30). Auf einer Länge von 13 m wurden nicht nur die flächigen Schichten des Abfallhaufens, sondern auch Berghölzer des Schachtverbruchs dokumentiert.

Die Ausgangssituation im Vortrieb 6 ist ähnlich jener des Ostvortriebs, ein sehr enges Arbeitsumfeld mit Profilen durch das Tagmaterial. Am Übergang zum nächsten

²⁸⁴ WESSLING ET AL. 2014, 4-5.

Dokumentationsbereich musste die Rohdatenaufnahme durch den Autor unterbrochen werden.

Dokumentation Herbst 2015: Bereich *Westend*

Dieser Abschnitt wurde schon in den ersten Tests von 2014 teilweise dokumentiert. Aufgrund der Abwesenheit des Autors übernahm D. Brandner, der zu diesem Zeitpunkt schon für die Fund- und Befundfotografie im Bergwerk verantwortlich war, die Rohdatenaufnahme in diesem Teil.²⁸⁵

Nach einer kurzen Einschulung in die 3D-Dokumentation und den entwickelten Ablauf übernahm er den Abschluss der für 2015 geplanten Aufnahmen. Durch seine langjährige Erfahrung im Bereich der digitalen Fotografie war die Einbindung der produzierten Fotos aus dem Bereich Westend in das Gesamtmodell kein Problem. Der Archäologe der Universität Innsbruck ist aktuell für die gesamte fotografische- und 3D-Dokumentation der Ausgrabungen durch das NHM Wien im prähistorischen Bergbau von Hallstatt verantwortlich.

Für die Aufnahme wurde eine *NIKON D7000* verwendet. Bei diesem Abbaubereich ist wie bei jenem um die Stiege ein sehr großer Hohlraum vorhanden. Das erleichterte die Dokumentation erheblich.

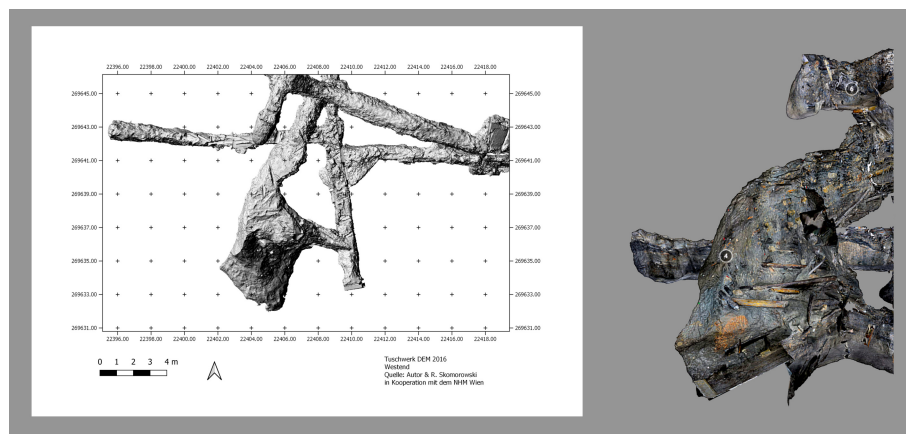


Abbildung 31: Lage des *Westend* im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Wie die Benennung *Westend* schon ahnen lässt, handelt es sich um das westliche Ende der bronzezeitlichen Abbauhalle (Siehe Abb. 31). Der Bereich zeigt einen Teil des originalen Werkshimmels mit zugehörigen Abbauspuren.²⁸⁶

²⁸⁵ BRANDNER 2018 (letzter Zugriff 15.09.2019).

²⁸⁶ POPPENWIMMER 2018 (letzter Zugriff 30.09.2019).

Auch das Verfüllmaterial der Tagmure unterscheidet sich teilweise. Es besteht in diesem Bereich an einigen Stellen aus sehr feinen Sedimentschichten. Dies ist ein Hinweis, dass hier wahrscheinlich auch Wasser den Hohlraum verfüllt hat.²⁸⁷

Die Zahl der Fotografien aus dem Jahr 2015 beläuft sich insgesamt auf knapp 10.000 Einzelaufnahmen und ca. 80 neuen Messpunkten.

Dokumentation Mai 2016: Bereich Vortrieb 6 Abschluss

Der Ost/West verlaufende Vortrieb 6 wurde am westlichen Ende T-förmig nach Nord und Süd erweitert.

Der Schwerpunkt der 3D-Dokumentation in diesem Abschnitt war die Dokumentation der Schachtwand aus Steinsalz, die daran gepressten Berghölzer und einen Wurzelstock. Dieser Bereich befindet sich direkt unter und teilweise schon im Inneren des bronzezeitlichen Förderschachts. Die in einem kleinen Bereich freigelegte Südwand des Schachts bestand aus Salz und war Ausgangslage für den Vortrieb in Richtung Norden. Ziel war es, den Gesamtquerschnitt des Schachts zu erfassen, also die Gegenseite zu finden. Die Gesamtlänge der angelegten Untersuchungsstollen liegt bei 10 m.

Wie auch im Ostvortrieb wurde dieser Bereich zum Zeitpunkt der Dokumentation nicht mehr untersucht und musste im Vorfeld saniert und frei geräumt werden. Eines der besonderen Fundstücke ist der komplett erhaltene Wurzelstock eines Baumes mit zwei Stämmen.²⁸⁸

Bei der Dokumentation von 2016 wurde nach gleichem Schema wie im Jahr 2015 vorgegangen. Die Fotos wurden wieder mit der Nikon D5300 und einer Teleskopstange angefertigt.

Eine wesentliche Änderung gab es in der Beleuchtung.

D. Brandner entwickelte eine Halterung mittels Stahlschiene an der zwei LED-Platten links und rechts von der Kamera und eine am Blitzschuh befestigt wurden. Nach kurzen Tests wurde das System auch für die 3D-Dokumentation adaptiert. Der Vorteil war, dass ein neutrales gleichbleibendes Licht fast den gesamten Sichtbereich rund um die Kamera ausleuchtete. Das beschleunigte den Aufnahmeprozess enorm, da keine zweite Person mehr als *Beleuchter* nötig war.

Dokumentation Mai 2016: Bereich *Westvortrieb*

Dieser Abschnitt war der Zweite der Testreihe von 2014. Im Jahr 2015 wurde der Westvortrieb mit den Erfahrungen der letzten Saison und den technischen Verbesserungen in der Beleuchtung und Kamera neu aufgenommen. Es handelt sich um einen Ost/West verlaufenden Stollen mit einer Länge von 13 m (Siehe Abb. 32). Grobe Reinigungsarbeiten mussten aufgrund der hohen Stabilität des Stollens nicht durchgeführt werden, dadurch waren nur feine Putzarbeiten nötig.

In diesem Bereich waren auch weniger Messnägeln notwendig, da es sich um einen der ältesten Vortriebe der Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk handelt und über

²⁸⁷ EHRET 2008, 68-69; Siehe auch: ROHN ET AL. 2005, 702-714.

²⁸⁸ EHRET 2008, 68.

die Jahre schon eine beachtliche Anzahl von Fixpunkten und Messnägeln angelegt waren. Diese wurden von J. Klammer im Jahr 2016 neu eingemessen bzw. überprüft.

Der Schwerpunkt der 3D-Dokumentation lag in diesem Bereich an der großen Dichte an Berghölzern aus dem Schachteinbau am First und auch an den teilweise sehr mächtig erhaltenen fundführenden Schichten.

Zusätzlich wurde ein Querschnitt durch die Originaloberfläche oder den Begehungshorizont der bronzezeitlichen Halle geschaffen. Das heißt, der anstehende Salzstock wurde auf eine Höhe von maximal ca. 80 cm geschnitten, um den Aufbau und die Form des Hallenbodens zu dokumentieren und zusätzlich einen Einblick in die ältesten Schichten zu bekommen.

Im Bereich Westvortrieb sind die drei Hauptschichten des Abbaus am besten sichtbar, also die Originaloberfläche, die Nutzungsschichten bestehend aus z.B. Tausenden von Leuchtpänen und anderen Betriebsabfällen und darauf folgend die Einbauten und Hölzer des Schachts sowie des Tagmaterials.

Im Zugangsbereich, also im Osten des Vortriebs, befindet sich das originale Förderseil aus der Bronzezeit, das aus Lindenbast gefertigt wurde.²⁸⁹

Zusätzlich muss erwähnt werden, dass die Arbeit in diesem Bereich sehr angenehm war, da es zu keinen Überschneidungen der aktuellen Grabung bzw. den Förderwegen der Archäologen kam. Die 3D-Dokumentation erfordert ein hohes Maß an Konzentration und in diesem Bereich kam es zu wenig Unterbrechungen des Ablaufs.

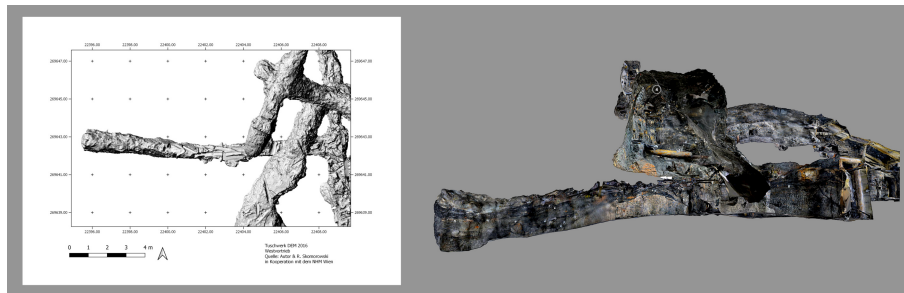


Abbildung 32: Lage des *Westvortrieb* im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

²⁸⁹ RESCHREITER, KOWARIK 2008a, 64.

Dokumentation Mai 2016: Bereich *Nordvortrieb*

Dieser Stollen schneidet durch die Fundschichten des Abfallhaufens und wurde ursprünglich schon im Barock angelegt (Siehe Abb. 33).

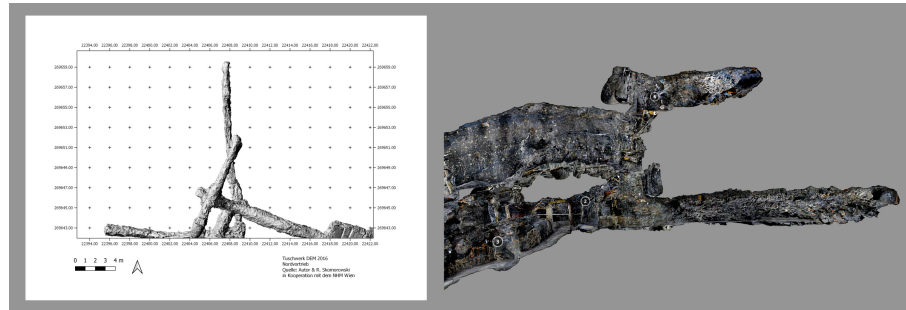


Abbildung 33: Lage des *Nordvortrieb* im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Die maximale Gesamthöhe der prähistorischen Abfallschichten liegt bei ca. 3 m. Am Zugang im südlichen Bereich wurde eine Förderrutsche entfernt und seitdem die vertikale Verbindung von Nordvortrieb und Vortrieb 6 genauer untersucht. Viele der aktuellen Fragestellungen werden in diesem Bereich bearbeitet.²⁹⁰

Ein Großteil des Nordvortriebs wurde aufgrund des extremen Feuchtigkeitsaustritts längere Zeit nicht mehr betreten. Aufgrund der Gefahr durch Verbruch wurde für die 3D-Dokumentation ein schnelleres, aber ungenaueres Aufnahmeverfahren gewählt. Dadurch konnte der Aufenthalt in den hinteren Bereichen des Nordvortriebs möglichst kurz gehalten werden. Die Vorgehensweise bestand hauptsächlich aus Schrägaufnahmen mit einem Neigungswinkel von ca. 30 Grad Drehung in horizontaler und vertikaler Richtung. Im Abstand von ca. 0,5 m wurde je eine Aufnahme gemacht. Nach gleicher Vorgangsweise wurden auch die Profile aufgenommen. Die Orthofotos aus diesem Bereich sind qualitativ schlechter als in anderen Bereichen, da es aufgrund der schrägen Perspektive immer wieder zu verschwommenen Bereichen kommt. Für die Bildung der 3D-Oberfläche und der Textur war diese Art der Aufnahme völlig ausreichend.

²⁹⁰ BRANDNER 2018 (letzter Zugriff 15.09.2019).

Dokumentation Herbst 2016: Bereich *Kreuzung Vortrieb 1 und 3*, Abschluss

Im Jahr 2016 wurde der letzte fehlende Bereich dokumentiert. Es handelte sich um den Bereich des Vortriebs 1 und 3, der von dem Zugang zur Fundstelle bis zum Anschlusspunkt in der Stiegenkammer verläuft (Siehe Abb. 34).

Die Dokumentation dieses Bereichs wurde bewusst an das Ende der Ausgrabung gestellt, da es sich hier um den Hauptverbindungsstollen zu den einzelnen Abbauen und der touristischen Aktivitäten im Bereich des Christian-von-Tusch-Werk handelt. Um die Grabungsarbeiten nicht zusätzlich zu behindern, wurde die Zeit der Aufnahme so kurz wie möglich gehalten. Die 3D-Dokumentation des Vortrieb 1 und 3 wurde in einem Zeitraum von 2 Wochen abgeschlossen. Zusätzlich konnten die Erfahrungen der Vorjahre in die aktuelle Dokumentation einfließen.

Der Befund in diesem Bereich ähnelt jenem des Westvortriebs. Das heißt, der Stollen bildet einen Querschnitt durch die Hauptschichten des prähistorischen Abbaus und Berghölzer am First. Besonderheiten sind bronzezeitliche Abbauspuren, das Lindenbastseil auf einer Länge von ca. 4,5 m und organische Funde, wie Häute etc.

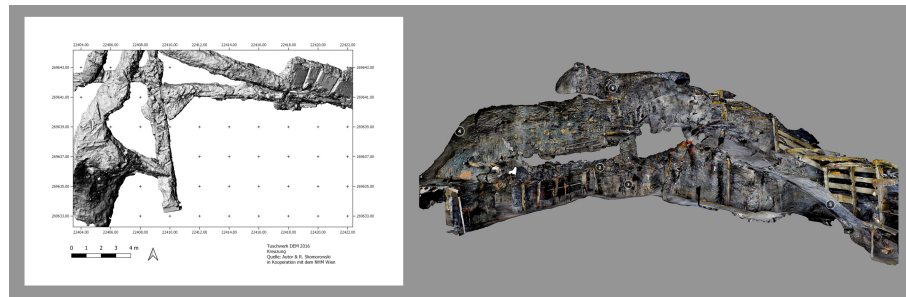


Abbildung 34: Lage des *Kreuzung Vortrieb 1 und 3* im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Die Einmessung und der Export aller für die Referenzierung nötigen Punkte wurde von J. Klammer (NHM Wien) durchgeführt.

Ergebnis



Abbildung 35: Das finale Ergebnis: Das 3D-Modell der archäologischen Abbaustollen im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Aus den Jahren 2014-2016 wurden ca. 16.000 Einzelfotos und 150 Messpunkte zur Referenzierung verwendet. Das finale Ergebnis ist eine Kopie im Maßstab 1:1 aller bis zum Ende der 3D-Dokumentation angelegten Hohlräume im Bereich Christian-von-Tusch-Werk.

Für die Erstellung des Modells wurde *Agisoft Photoscan* bzw. *Metashape* verwendet. Anschließend an die Rohdatenaufnahmen im Bergwerk wurde überprüft, ob das Erstellen einer Punktwolke mit den zuvor produzierten Daten ohne Probleme möglich ist. Dabei erzeugte man noch vor Ort eine sehr gering aufgelöste Sparse Point Cloud mittels SfM-Algorithmen.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass alle Arbeiten außer der Rohdatenaufnahme, vom Autor in seiner Freizeit durchgeführt wurden. Die Nachbearbeitung der Fotos sowie die Erstellung des 3D-Modells wurde selbständig und unabhängig vom Grabungsprojekt durchgeführt.

Eine Vorversion mit niedriger Auflösung konnte schon im Sommer 2016 bei der Veranstaltung *Archäologie am Berg* präsentiert werden.

Einige Probleme kamen erst während der Nachbearbeitung auf, wie z.B. die Unmengen an Fotos, der enorme Zeitaufwand, die strukturierte Aufteilung der Bereiche und die Rechenleistung der benutzten Geräte.

Also wurde im Winter 2017/2018 das Modell von Grund auf neu gerechnet.

R. Weßling war zur Durchführung mit seinen umfassenden Erfahrungen im Bereich

bildbasierter 3D-Dokumentation ein unverzichtbarer Partner und eine große Hilfe. Ohne unsere Zusammenarbeit wäre dieses Großprojekt wahrscheinlich nie realisiert worden.

Das Endergebnis konnte nach ca. 2 Monaten Arbeit im Frühjahr 2018 präsentiert werden (Siehe Abb. 35).

Zur besseren Handhabung wurde das Modell in fünf kleinere Teilbereiche (a-e) aufgeteilt und die Fotos entsprechend zugeteilt.

Die Sparse Point Clouds wurden mit den höchsten Einstellungen gerechnet. Danach erfolgte die Referenzierung der Teilbereiche mit den angefertigten Skizzen und Messdaten. Die Bildung der verdichteten Punktwolken wurde mit den Einstellungen niedrig bis mittel gerechnet, da ansonsten die Größe bzw. der Speicherbedarf des fertigen Gesamtmodells zum aktuellen Zeitpunkt bei weitem zu groß gewesen wäre.

Der letzte Schritt, also die Bildung des 3D-Polygonnetzes, wurde mit den höchsten Einstellungen durchgeführt. Die Auflösung der Textur wurde je nach Anwendung angepasst und neu gerechnet. Für die Produktion der hochauflösenden Animationen wurden z.B. Texturen mit 36k pro Teilbereich des Modells verwendet.²⁹¹

Das exportierte Modell hat eine Größe von 1,3 GB. Es bildet die Grundlage für fast alle weiteren beschriebenen Fallstudien, die mit dem Bergwerk in Zusammenhang stehen. Auch eine große Anzahl an Rasterdaten, wie Orthofotos und DEMs wurden testweise exportiert.

Die Nachbearbeitung und Reinigung erfolgte größtenteils mit den Programmen *MeshLab*, *Blender* und der Game Engine *Unity*. So wurde z. B. für diverse Web-Präsentationen das Modell auf ca. 200 MB komprimiert.

Nach weiterem Dezimieren der Daten wurde auch ein virtueller Webdurchgang auf WebGL-Basis in First Person Perspektive ermöglicht.²⁹²

Analyseverfahren aus dem Bereich Geoinformatik wurden hauptsächlich mit dem Programm *Cloud Compare* durchgeführt. Es handelt sich um ein sehr nützliches, kostenfreies Programm, das ursprünglich für die Bearbeitung von Punktwolken aus 3D-Scans entwickelt wurde. Mithilfe der vorhandenen Werkzeuge konnten z. B. Schnitte in einem definierten Abstand produziert werden, das Ergebnis sind automatisch erzeugte Polylinien durch das gesamte Bergwerk, die als DXF- oder Shp-Files exportiert werden können (Siehe Abb. 36).

Das ist nur eine kleine Auswahl der Möglichkeiten, für die Verwendung von 3D-Modellen im Bereich Forschung und wissenschaftlicher Vermittlung.

Im Herbst 2018 wurde das 3D Modell der Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht und in diesem Zuge wurde auch ein virtueller Online-Durchgang, mit natürlich extrem reduziertem 3D-Modell präsentiert (Siehe Abb. 37).²⁹³

²⁹¹ 36k = 36.000 x 36.000.

²⁹² ONLINE WALK CHRISTIAN-VON-TUSCH-WERK 2019 (letzter Zugriff 30.09.2019).

²⁹³ SKETCHFAB CRAZY EYE 2019a (letzter Zugriff 30.09.2019).

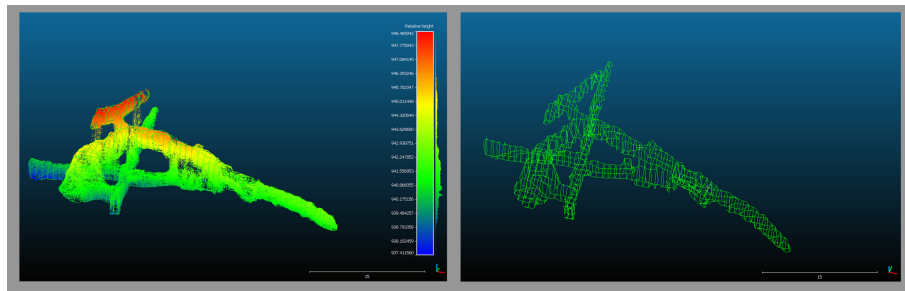


Abbildung 36: Diverse Rasteranalysen am fertigen 3D-Modell. Links: Darstellung der relativen Höhen, rechts: Export von Durchschnitten als Vektordaten (Quelle: Erstellt vom Autor 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

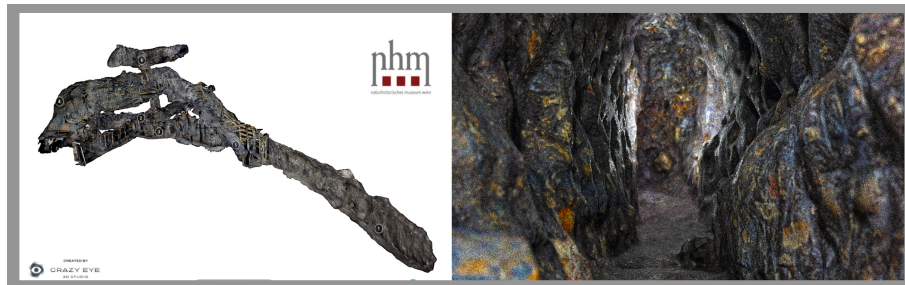


Abbildung 37: Die online Version des Modells und der virtuelle Durchgang (Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Sketchfab.com/crazyeye 2018.)

4.3 Fallstudie 02: Bergwerk, Test Tiefenkamera

Ausgangslage

Seit dem 1. Juli 2017 ist die digitale Aufarbeitung der prähistorischen Fundstellen von Hallstatt Teil des interdisziplinären Interreg Projekts *VirtualArch*. Ziel des Projekts ist die öffentlichkeitswirksame Präsentation von archäologischen Daten mit Hilfe von modernen technischen Methoden wie Virtual- und Augmented Reality. Dazu gehört auch die Überprüfung und Suche nach geeigneten Möglichkeiten der 3D-Dokumentation mittels Laserscans, IBM-Verfahren und Anwendung von SLAM-Techniken.²⁹⁴

²⁹⁴ INTERREG VIRTUALARCH HALLSTATT 2017 (letzter Zugriff 28.09.2019).

Ziel war, die Entwicklung bzw. Anwendung einer möglichst genauen und schnellen Methode für die 3D-Aufnahme großer Bereiche.

Im Vorfeld wurden verschiedene Arten von Echtzeit 3D-Dokumentationsarten recherchiert. Terrestrische Laserscanner waren dafür bestens geeignet. Aufgrund der hohen Anschaffungskosten wurde in der Saison 2017 auf diese Art verzichtet. Die Alternative waren ToF- oder Stereokameras. Unter Anwendung von SLAM-Algorithmen können diese Geräte je nach Einstellung in Echtzeit ein messbares 3D-Modell aufbauen, dass für die Vermittlung und Darstellung bzw. als Grundlage ausreichend war.

Die Produkte der Firma *Matterport* nutzen diese Technologien und sind für die Anwendung der Bergwerksaufnahme mit der Kombination aus Streifenlichtscannern und Stereokamera perfekt geeignet.

Für die ersten Tests wurde aufgrund der geringeren Kosten, eine ZED-Stereokamera von der Firma *Stereolab* angeschafft.

Als Teststrecke wurden ca. 500 m des Kaiserin-Christina-Stollens vom Mundloch bis ca. 50 m nördlich der Fundstelle Kilbwerk ausgewählt (eisenzeitliche Fundstelle des *Mannes im Salz*). Die Länge der gemessenen Strecke muss verdoppelt werden, da durch die Abschattung in eine Richtung auch die Rückseiten der Einbauten in die andere Richtung, wie z.B. Stempel dokumentiert werden musste.

Als geplante Zeitspanne zur Umsetzung standen nur eineinhalb Wochen zur Verfügung.

Durchführung

Zur Vorbereitung der Handhabe und Ausführung der Tiefenmessung wurde die Stereokamera intensiv im Büro des *Archäologiezentrum Hallstatt* getestet. Die Bedienung und Installation war aufgrund der Auswahl der richtigen *CUDA*-Treiber schwieriger als gedacht.

Auch die Bedienung und Einarbeitung in die zugehörige Software nahm viel Zeit in Anspruch, da die Programme noch in den ersten Versionen vorlagen und nicht voll ausgereift waren.

Die Kamera arbeitet mit SLAM-Algorithmen und führt Messungen in Echtzeit während einer Bewegung durch. In ersten Versuchen wurde das Gerät mit einem kleinem Stativ in der Hand geführt, dabei kam es durch zu schnelle Bewegungen und Veränderungen des Winkels immer wieder zu Fehlern beim Zusammenfügen der Modelle. Erst nach einiger Übung konnte die Entwicklung eines stabilen Messvorgangs gelingen und somit die Messungen im Bergwerk anfangen.

Da der Messprozess viel Strom und Leistung benötigt, die Kamera jedoch über keine eigene Stromversorgung verfügt, musste sie über USB mit dem Laptop betrieben werden. So musste neben einem halbwegs leistungsfähigen Computer bei längeren Messungen über mehrere Stunden auf eine dauerhafte Stromversorgung geachtet werden.

Nach ca. 30 Messversuchen war es langsam möglich, einen stabilen Arbeitsablauf und die richtigen Einstellungen zu definieren. Da das Gewicht des Laptops und

das zusätzliche Halten der Kamera am Monostativ eher hinderlich war, musste eine Halterung entwickelt werden.

Nach dem Bau einer mobilen Halterung, ähnlich einem Bauchladen, konnten die ersten Messungen unter Tage durchgeführt werden. Der Bereich vor dem Zugang zum Christian-von-Tusch-Werk wurde aufgrund der guten Beleuchtung und der breiten, halbrunden Stollenverzimmerung für die Messungen ausgewählt. Die Software zeigte während der Messung drei Bereiche: Die Videoaufnahme, die zur Texturbildung diente; die Tiefenmessung, wobei verschiedene Modi der Darstellung gewählt werden können und der Aufbau des 3D-Polygonnetzes als blaue Gitterlinien (Siehe Abb. 38 rechts).

Um das Mesh zu verdichten, musste die Kamera sehr ruhig geführt und immer wieder angehalten werden. Bei den vertikalen Drehbewegungen waren nur sehr geringe Winkel von ca. 20 Grad nach links und rechts möglich, da ansonsten der Anschluss an die vorherige Messung verloren wurde und das wieder zu Fehlern im Polygonnetz führte.

Für die korrekte Modellerstellung waren diese leichten Drehungen allerdings nötig. Nachdem ein Abschnitt in eine Richtung dokumentiert wurde, musste das Modell zwischengespeichert werden, bevor man die Rückseiten desselben Abschnitts dokumentieren konnte. Für diese Messungen wurde der Laptop testweise im Batteriemodus betrieben, um die maximale Messzeit ohne Stromversorgung auszuloten. Dabei ergab sich eine Dauer von ca. 1,5 h.

Um eine Tiefenmessung über mehrere Stunden zu gewährleisten, musste eine externe Stromversorgung benutzt werden. Die erstellten Einzelmodelle wurden nachträglich am Computer zusammengefügt.

Die Beleuchtung stellte ein weiteres ungelöstes Problem dar, da die Kamera zur Messung und zur Erstellung einer verwertbaren Textur viel Licht benötigte.

Die im aktiven Grabungsbetrieb eingesetzten lichtstarken Akku-Scheinwerfer auf LED-Basis der Firma *Berner* eigneten sich hervorragend.

Ein Nachteil dieser Option war, dass ein Zusatzgewicht von fast einem Kilo für einen dauerhaften Betrieb über einen Nackenriemen getragen, zu körperlichen Belastungen führte.

Nach diesen Tests war ein funktionierender Ablauf gewährleistet, um mit der geplanten 3D-Aufnahme im Bergwerk zu beginnen. Einzig bei der Hardware, also der Halterung, Stromversorgung und Beleuchtung etc. mussten noch Lösungen gefunden werden.

Gemeinsam mit Kollegen der Ausgrabung (T. Ragger und D. Brandner) wurde ein Gefährt entwickelt, das auch diese Probleme beseitigte. Zusammengefasst mussten auf der Tragehalterung mindestens drei Scheinwerfer montiert werden, diese sollten nach vorne und seitlich auf die Profile gerichtet sein. Die Kamera musste stabil in einer Höhe von ca. 1,70 - 1,80 m montiert werden, aber trotzdem in alle Richtungen zumindest leicht rotierbar sein. Zusätzlich musste ein Abstellplatz für einen Verteiler und den Laptop vorhanden sein.

Die konstruierte Lösung war so genial, wie einfach und bestand aus dem Umbau

einer ausgedienten Grabungsschubkarre. Alle Trageelemente wurden aus Holz gebaut und mit dem fahrbaren Untersatz verbunden. Ein vertikaler Holzrahmen bildete die Halterung für die Kamera und gleichzeitig die des nach vorne gerichteten Scheinwerfers. Die Kamera konnte stabil an einer integrierten Viertelzoll-Schraube in der benötigten Höhe befestigt werden und war so vor Vibrationen und Lageveränderungen geschützt. Dahinter wurde mittels eines breiten Holzbretts eine Ablage gebildet und ein Stromverteiler verschraubt. Die externe Stromversorgung bestand



Abbildung 38: Links: Das fertige mobile *3D-Messgefährt* mit der oben montierten SLAM-Kamera. Rechts: Erste Testreihen im Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Links: T. Ragger 2017, NHM Wien. Rechts: D. Brandner 2017, NHM Wien, Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt.)

aus einer 50 m Kabelrolle, die während der Messungen bis zur nächsten Steckdose einfach abgespult wurde. Die Entwicklung dieses Messgefährts war ein Lösungsansatz der zuvor recherchierten Probleme. Durch den mobilen Aufbau, war die Dokumentation der Gesamtlänge von 500 m erst möglich (Siehe Abb. 38 links). Drei Tage Vorlaufzeit waren notwendig, bevor aktiv mit den eigentlichen Messungen begonnen werden konnte.

Aufgrund des ungestörten Arbeitsprozesses und auch zur Weiterentwicklung des Messvorgangs wurde am hinteren Ende der Strecke begonnen. Die Modelle sollten durch sichtbare Fixpunkte, der Salinen Austria AG, nachträglich durch passive Referenzierung eingebunden werden.

Nach einem guten Beginn der 3D-Dokumentation mittels Tiefenmessung stellte sich heraus, dass mindestens alle 10-20 m die Messung unterbrochen und eine Zwischenspeicherung nötig war. Bei längeren Messstrecken führte das ansonsten zum Absturz des Systems und der Vorgang musste erneut wiederholt werden.

Die Erstellung mehrerer Einzelmessungen war von Vorteil, da bei Messfehlern nur ein kleiner Teil wiederholt werden musste.

Um genügend Überlappung zu gewährleisten, musste beim Fortsetzen des nächsten Messabschnitts ein Stück vor dem Ende der letzten Speicherung begonnen werden. Nach den gelösten Anfangsproblemen war ein stabiler Arbeitsablauf entwickelt worden und die gesamte Messung konnte innerhalb der nächsten Tage vollständig abgeschlossen werden.

Ergebnis

Das Resultat nach der Rohdatenaufnahme waren 168 einzelne Punktwolken, 3D-Modelle, Materialfiles etc.. Aufgrund des systematischen Ablaufs während des Messvorgangs, war es möglich, die einzelnen Daten richtig zuzuordnen. Die Nachbearbeitung der Daten wurde größtenteils mittels *Cloud Compare* durchgeführt. Das Programm besitzt nützliche Werkzeuge, die es möglich machen, mehrere Punktwolken mit teilweise automatischen Methoden auszurichten und zu verknüpfen. Es können auch Meshes als Grundlage verwendet werden. Diese werden auf Überschneidungen bzw. gleiche Bereiche überprüft und danach zueinander ausgerichtet. Funktioniert die automatische Ausrichtung nicht, kann manuell über mehrere Punkte verknüpft werden.

Unter Anwendung der beschriebenen Methoden wurden 150 m Stollen testweise zusammengesetzt. Leider gestaltete sich das Zusammenfügen dieser Daten als sehr schwierig und ein Großteil musste manuell nachbearbeitet werden (Siehe Abb. 39). Aufgrund der geringen Auflösung der Kamera ist die Textur von eher schlechter



Abbildung 39: Ergebnisse der Messungen im Kaiserin-Christina- Stollen mittels SLAM-Kamera
(Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den Salinen Austria AG und dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt 2017 produziert.)

Qualität. Für die Strukturbildung der Oberfläche war die Dunkelheit des Bergwerks durchaus fördernd, allerdings bei der Texturbildung ein Hindernis und trotz der guten Beleuchtung nicht sehr zufriedenstellend.

Als Fazit muss festgehalten werden, dass die ZED-Kamera für die Aufnahme kleinerer, gut ausgeleuchteter Bereiche geeignet ist und auch für Anwendungen im maschinellen Sehen gute Ergebnisse liefert. Mittlerweile wurde viel an der Software weiter entwickelt, trotzdem war das Post Processing der Daten mit sehr viel Zeitaufwand verbunden.

So muss man für das Zusammensetzen der Einzelbereiche von 500 m Stollen mit einer beschäftigten Person von ca. 2 Monaten Arbeitsaufwand ausgehen. Diese Berechnung schwankt natürlich mit den Erfahrungen in der Nutzung der Hard- und Software.

Für große 3D-Dokumentationsprojekte, wie jenes beim Test in Hallstatt wäre eventuell eine Kamera der Firma Matterport zu empfehlen. Seit 2018 konnten durch den Autor parallel Tests mit dieser Kamera durchgeführt werden, welche eine Kombination aus SLAM-Techniken und Infrarot-Streifenlichtscannern zur Messung nutzt. Die Ergebnisse waren sehr überzeugend und zufriedenstellend:

Die Handhabung und Bedienung ist viel einfacher als bei Vergleichsgeräten. Das Gerät funktioniert mittels Tablet mobil und in Echtzeit. Eine externe Stromversorgung ist nicht nötig, da der Akku bis zu 6 h hält. Die Software ist stabil und fast alle Prozesse laufen automatisiert und im Hintergrund ab. Auch bei bis zu 300 Scanpositionen kommt es zu keinen Abstürzen etc. Das Zusammensetzen und Ausrichten der Modelle ist innerhalb kurzer Zeit und mit wenig Aufwand möglich. Zusätzlich werden für die Textur mittels 360-Grad Kameras Bilder mit einer Auflösung von 36 k geschaffen.

R. Skomorowski setzte das Gerät für die Gesamtaufnahme eines ca. 1,4 km langen Stollensystems der NS-Zeit ein und die Ergebnisse waren sehr überzeugend (Siehe Abb. 19).²⁹⁵

Die Aufnahme von 4500 Quadratmetern Fläche wurde nach einer Woche abgeschlossen. An den produzierten Daten konnte auch direkt gemessen, ein Grundrissplan und ein virtueller Durchgang durch den Stollen exportiert werden. Auch der Detailgrad der Auflösung des 3D-Modells ist im Vergleich sehr gut.

²⁹⁵ BINDER 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019); SKOMOROWSKI, CRAZY EYE 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019).

4.4 Fallstudie 03: Bergwerk, 360-Grad Aufnahmen

Ausgangslage

Die Ausgangslage war ident wie bei Fallstudie 02. Parallel zu den Messungen mittels Stereokamera wurden 360-Grad Videos und Fotos angefertigt. Die Kamera wurde primär im Bergwerk eingesetzt.

Bei der Durchführung eines Surveys aus dem Jahr 2017 durch das NHM Wien, wurde zusätzlich zur herkömmlichen Aufnahme der Fundstellen von jedem Punkt eines oder mehrere 360-Grad Fotos angefertigt.

Ein weiterer praktischer Anwendungsbereich entwickelte sich während der Ausgrabung am Gräberfeld 2019. Die sphärischen Bilder und Videos wurden eingesetzt, um mögliche Erinnerungslücken bei der Installation der Infrastruktur zu vermeiden. So wurde z.B. der genaue Aufbau des Ausgrabungszelts mittels 360-Grad Fotos und Videos dokumentiert.

Seit einiger Zeit konnten sphärische Aufnahmen auch mit IBM-Programmen zu 3D-Daten weiter verarbeitet werden. Für diesen Versuch wurde eine *Samsung Gear 360 Kamera* an einer Teleskopstange verwendet. Zur Rohdatenaufnahme wurden die Fotos in der höchstmöglichen Auflösung und die Videos hauptsächlich in 4k produziert.

Durchführung

Ursprünglich wurde die 360-Grad Kamera eher zur Anfertigung von Situationsfotos im Bergwerk eingesetzt, um eine nachträgliche schnelle Datenproduktion für z.B. Virtual-Reality-Brillen zu schaffen. Auf diese Weise sollte eine Diskussionsmöglichkeit der Befunde geschaffen werden, die nachträglich an einem anderen Ort z.B. im Museum durchgeführt werden konnte. Die Aufnahmen bildeten quasi eine Art digitales Gedächtnis und zur Befundbesprechung konnten die Daten durch Versenden schnell und einfach geteilt werden.

Für die testweise Bildung eines 3D-Modells wurde ein großer Bereich vom Mundloch des Kaiserin-Christina-Stollens bis in die Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk mittels 360-Grad Video dokumentiert. Die Messstrecke waren ca. 350 m und es wurden keine zusätzlichen Lichtquellen verwendet, um ein möglichst exaktes Abbild der Verhältnisse vor Ort wiederzugeben.

Das ursprüngliche Ziel war die Aufnahme der Videodatei, die wie erwähnt einerseits für die Verwendung in VR-Brillen produziert wurde und andererseits für den Vergleich der künstlichen Ausleuchtungsmöglichkeiten im 3D-Modell der Fundstelle dienen sollte.

Nach der Produktion des Videos wurde die Idee entwickelt, zusätzlich jedes zehnte Frame als Bild zu exportieren, um es mit bildgebenden 3D-Methoden ausgiebig zu testen und ein Modell zu exportieren.

Die Aufnahmen sollten also nur sekundär als Rohdatengrundlage für ein 3D-Modell dienen und zusätzlich für die öffentliche Präsentation genutzt werden.

Die produzierten 3D-Daten sollten in Folge mit den Ergebnissen der Tiefenkamera verglichen werden.

Für den Versuch wurden die ersten 100 m des Stolleneingangsbereichs definiert, dafür war der Export von ca. 600 Fotos/Frames nötig. Für die Aufnahme wurde die Kamera auf einem Monostativ in ca. 1,5 m Höhe montiert und ruhig vor dem Körper getragen.

Das Video konnte per Smartphone live verfolgt werden, die gesamte Aufnahme war nach ca. 15 Minuten vollständig abgeschlossen. Danach wurden als Vergleich nach jedem 10. Frame Einzelbilder aus dem Video exportiert.

Auch bei diesem Test wurde die IBM-Software Agisoft Photoscan verwendet. Die Bilder mussten vorher aufgehellt und die Kontraste leicht gesenkt werden. In der Software wurden sie danach noch maskiert und die höchsten Einstellungen bei allen Einzelschritten verwendet.

Von dem Ergebnis wurde wenig erwartet, deshalb war es eher überraschend, dass das produzierte finale 3D-Modell eine sehr gute Geometrie und keine Löcher aufwies.

Nach dem Aufnahmeprozess und nach Analyse der exportierten Daten konnte ein optimierter Ablauf der Rohdatengewinnung entwickelt werden.

Qualitätsunterschiede, die z.B. in Bodennähe festgestellt wurden, zeigten, dass ein Durchgang in nur einer Höhe nicht ausreicht. Pro Standpunkt sollten deshalb auch Aufnahmen in Bodennähe angefertigt werden und zusätzlich mindestens noch eine im Deckenbereich. Die Punktwolke wird natürlich umso dichter je mehr Positionen man wählt, z.B. auch auf mittlerer Höhe - im Brustbereich. Zusätzlich ist bei der Aufnahme mit 360-Grad Kameras unter Tage, wie auch bei anderen bildgebenden 3D-Verfahren auf genügend externe Beleuchtung zu achten.

Ergebnis

Das Endresultat bestand aus ca. 50 Video- und Fotodateien. Diese Zahlen beinhalten nicht nur die sphärischen Ansichten aus dem Bergwerk, sondern auch jene die begleitend zum Survey 2017 zur Fundstellendokumentation angefertigt wurden.

Nach kurzer Nachbearbeitung sind die Dateien in den gängigen Formaten vorhanden und direkt auch in z.B. VR-Brillen benutzbar.

Auch die einfache Webintegration von 360-Grad Daten ist sehr positiv zu bewerten. Onlineanbieter wie z.B. *YouTube* oder *Facebook* haben schon fertig integrierte *Viewer*, die das einfache Hochladen per Drag und Drop ermöglichen.

Zusätzlich ist es mittlerweile auch mit grundlegenden Programmierkenntnissen möglich, per *JavaScript* eine online VR-Tour aus den erstellten Fotos und Videos zu machen. Der Benutzer kann selbst per Mausklick oder mit den Pfeiltasten durch die Szene navigieren. Diese Art der Datenpräsentation gibt auch ein Gefühl von Immersion. Zusätzlich stellt es eine einfache und schnelle Lösung dar, um WebVR-Inhalte bestehender Objekte und Orte zu präsentieren.

Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist die Geschwindigkeit des Aufnahmeprozesses. Bei der Videofunktion ist die höchste Qualitätseinstellung 4k, sie liefert vor

allen bei Tageslicht und gut ausgeleuchteten Räumen sehr gute Ergebnisse. Bei schlechten Lichtverhältnissen stößt der Sensor allerdings an seine Grenzen und man sieht bei der Ansicht in der VR-Brille zum Teil auch größere Pixel oder unscharfe Bereiche.

Wie beschrieben, funktioniert der Export von Rohdaten für die Erstellung von ausreichenden 3D-Modellen für, z.B. Vermittlungsarbeit außerordentlich gut.

Aufgrund der sphärischen Ansichten kommt man auch mit relativ wenig Fotopositionen aus. Um geometrische Verzerrungen zu verhindern, muss vor den Berechnungen in IBM-Programmen bei den Kameraeinstellungen der Fototyp auf *Spherical* umgestellt werden.

Am Ende noch eine Zusammenfassung, was man bei der dreidimensionalen Dokumentation mittels 360 Grad Kamera beachten sollte:

Um ein Modell mit guter Geometrie und Textur zu erhalten, sollten bei der Rohdatenaufnahme drei Kamerapositionen (über Kopf - Körpermitte - Bodennähe) alle im Abstand von ca. zwei Metern verwendet werden.

Wichtig ist das Maskieren der Fotos, da die Bereiche mit starker Verzerrung, oben und unten im Bild ansonsten zu Fehlern führen.

Es ist zu empfehlen, die Kamera auf einem Dreibeinstativ zu montieren und mit dem Smartphone fern auszulösen. Bei Video-Dokumentationen ist die Verwendung eines Monostativs zu empfehlen. Es ist darauf zu achten, dass man Personen beim Maskieren ausschneidet.

Die Ergebnisse sind vor allem für Visualisierungen und Animationszwecke ausreichend (Siehe Abb. 40). Das Modell kann mittels oben beschriebenen Verknüpfungsverfahren aus *Cloud Compare* auch schnell mit den Daten der Tiefenkamera verknüpft werden. Die Textur ist bei dieser Art von 3D-Dokumentation wesentlich besser als bei der ZED-Stereokamera.

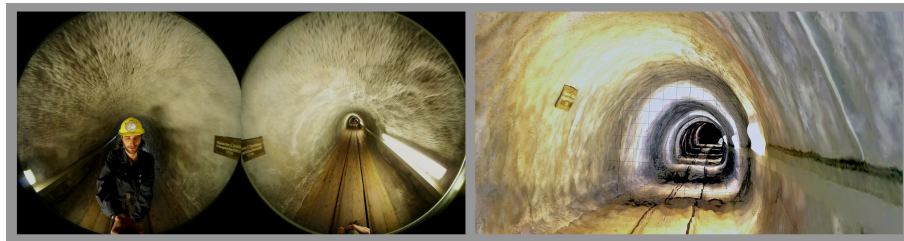


Abbildung 40: Ergebnisse der IBM-Modellierung mit 360 Grad Daten (Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den Salinen Austria AG und dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt 2017 produziert.)

4.5 Fallstudie 04: Bergwerk und Hochtal, Animationen

Ausgangslage

Im Jahr 2018 sollten die fertigen 3D-Modelle sowie neue Daten erstmals der Öffentlichkeit präsentiert werden.

Von der Medienproduktionsfirma *Terra Mater Factual Studios* (TMFS) wurde eine Dokumentation mit dem Titel „Hallstatt - Dawn of the Celts“ im November desselben Jahres umgesetzt. Die Idee und Regie stammten von Klaus T. Steindl.²⁹⁶ Nach ersten Besprechungen mit der Produktionsleitung wurden zehn Animationssequenzen für den Film fixiert.

Die wissenschaftliche Beratung übernahm das NHM Wien unter der Leitung von A. Kern.

Eine weitere Animation wurde für das Multimediaprojekt *ArchaeoBits* im Rahmen der Masterarbeit von A. Linzbauer produziert. Sie untersuchte die Nutzung und den zweckmäßigen Einsatz von Multimedia-Stationen in archäologischen Ausstellungen. Im Zuge dieser Arbeiten entstand ein vollständiger Dokumentarfilm zur Begleitung der Funde vom Bergwerk bis ins Museum.

Das Projekt mit Namen „ArchaeoBits: Hallstatt-Aus dem Salz in die Vitrine“ wurde mit einem Animationsflug durch die Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk unterstützt.²⁹⁷

Ein Großteil der in den beschriebenen Animationen verwendeten Modelle wurden während der Produktion erstellt. Die fertigen Videosequenzen wurden gemeinsam mit R. Fragner von *Industrial Motion Art* (IMA) umgesetzt.²⁹⁸

Vor Beginn der eigentlichen Animationserstellung wurden folgende Szenen fixiert:

1. Grab 97-102 Funde:

Es soll eine Kamerafahrt auf bestimmte Gräber und ausgewählte in situ Funde im Detail erfolgen. Die verwendeten Modelle sollen fotorealistisch sein (Siehe Abb. 41 - links).

2. Grab 97-102 Skelettlagen:

Die einzelnen Gräber werden als Gittermodelle dargestellt. Danach folgt eine Überblendung in fotorealistische Darstellungsformen. Am Ende schließt die Szene mit einem orthogonalen Schwenk auf die Skelettlagen ab. Auf diese Weise soll die dichte Belegung des Gräberfelds sichtbar gemacht werden (Siehe Abb. 41 - rechts).

²⁹⁶ STEINDL 2018 (letzter Zugriff 25.09.2019).

²⁹⁷ LINZBAUER 2019 (letzter Zugriff 25.09.2019).

²⁹⁸ FRAGNER 2018 (letzter Zugriff 24.09.2019).



Abbildung 41: Animationsbeispiele Hallstatt 01 und 02 - Grab 97 - 102 Fundmaterial und Skelettlagen (Quelle: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.)

3. Grab 97-102 Kuh-Kälbchen Gefäß:

Die Szene beginnt mit einer Kameradrehung um die in situ Fundsituation des Kuh-Kälbchen-Gefäßes. Danach folgt eine Überblendung auf das freigestellte, rekonstruierte Gefäß. Es handelt sich um ein fotorealistisches 3D-Modell. Die Drehung um das Gefäß soll sehr langsam sein, dass Details besser sichtbar werden (Siehe Abb. 42 - links).

4. Grab 97-102 Holzbefund:

In dieser Animation sollen archäologische Arbeitsabläufe durch eine „Virtuelle Ausgrabung“ dargestellt werden.

Wichtig ist, dass einem Laienpublikum stratigraphische Schichtabläufe erklärt werden. Am Beginn erfolgt eine Öffnung der Grasnarbe und die zwei sogenannten „Hünengräber“ werden aufgedeckt. Die Gräber sind umgeben von Erde, die Verfüllschichten werden virtuell entfernt und die Gräber und bronzezeitlichen Befunde tauchen chronologisch nach der Freilegung auf. Am Ende soll eine Fokussierung auf den Holzbefund mit kurzer Kamerafahrt über die Abschlusssituation erzeugt werden (Siehe Abb. 42 - rechts).



Abbildung 42: Animationsbeispiele Hallstatt 03 und 04 - Kuhkälbchengefäß und Blockbau (Quelle: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.)

5. **Bärentatze:**

Die Anfangsszene ist ein fotorealistisches Grabmodell des sogenannten „Bärentöters“. Die Kamera wird senkrecht über das Skelett positioniert und fährt langsam über die sterblichen Überreste in Richtung der erhaltenen Bärenklauen. Im Anschluss folgt ein Schwenk auf die Tatzen, zum Abschluss ein Standbild der Szene. (Siehe Abb. 43 - links).

6. **Holzbefund Detail:**

Das Modell des fotorealistischen, bronzezeitlichen Holzbefunds wird eingebettet in die Umgebung. Das heißt, es soll virtuell in die Landschaft integriert werden mittels umgebender Grasfläche. Danach erfolgt ein Kameraflug zu den besonderen Detailbereichen, wie z.B. die Wurzeln, das Bauholz und diverse Konstruktionselemente – Kerben im Holz. Der Flug der Kamera soll zur besseren Wahrnehmung verlangsamt werden (Siehe Abb. 43 - rechts).



Abbildung 43: Animationsbeispiele Hallstatt 05 und 06 - Bärentatze und Details Blockbau
(Quelle: Vom Autor und R. Fagner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.)

7. **Stollensystem:**

Die Szene startet im Bergwerk. Es soll eine Kamerafahrt durch das fotorealistische 3D-Modell der Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk erfolgen. Bei ausgewählten Objekten folgt ein kurzes Verweilen. Es können noch zusätzliche Informationen und z.B. Fotoüberblendungen der Details eingefügt werden. Die ausgewählten Fundobjekte für diese Animation sind das Seil und der Wurzelstock. (Siehe Abb. 44 - links).

8. **Vortriebe im Berg:**

Dem Zuseher soll die Lage der Fundstellen unter Tage mittels schematischen Aufriss des Bergwerks erklärt werden. Als Ausgangssituation wird ein Schwenk von der heutigen Landschaft in die Tiefe mit den integrierten Bergwerksmodellen gezeigt. Danach sollen in den Aufriss diverse geologische Schichten, die Hallen der Bronzezeit und die aktuellen Abbaubereiche mittels moderner Aufrisspläne der Salinen Austria AG gezeigt werden (Siehe Abb. 44 - Mitte).

9. Beleuchtung Berg:

Diese Szene soll dem Zuseher die Dunkelheit im Bergwerk näher bringen. Das Modell des Christian-von-Tusch-Werk ist in der Anfangsszene im Dunkeln, danach taucht der Lichtschein eines Leuchts pans auf und zeigt die Beleuchtungssituation während des Arbeitens im Berg, inklusive einem kurzem Gang durch den Stollen. Danach erfolgt eine Zeitreise ins heutige Bergwerk. Die Szene startet mit einer Fahrt zu den Überresten der bronzezeitlichen Beleuchtungsmittel, also zu den Schichten mit in situ Lagen der Leuchtpäne. Es kann auch eine Einblendung eines freigelegten Leuchts pan erstellt werden. Als eigenständige Animation sollte die moderne Helmlampe gezeigt werden (Siehe Abb. 44 - rechts).

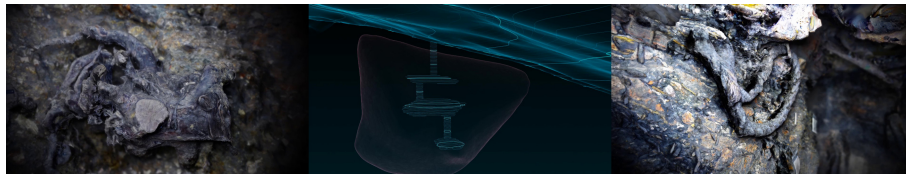


Abbildung 44: Animationsbeispiele Hallstatt 07, 08 und 09 - Flug Stollensystem, Abbauhallen Übersicht, Beleuchtung Berg (Quelle: Vom Autor und R. Fagner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.)

10. Überblickanimation:

Am Beginn erfolgt ein Blick auf einen Teil der Erdkugel (Europa). In Folge soll ein *actionreicher* Anflug aus der Erdatmosphäre auf das Hochtal von Hallstatt passieren.

Danach soll der Überflug knapp über dem Boden durch das Gräberfeld zum Stolleneingang (Kaiserin-Christina) mit Einfahrt in den Stollen ohne Geschwindigkeitsabbruch gezeigt werden. In Folge ein rascher Durchflug durch die Abbaustollen im Christian-von-Tusch-Werk.

In der Schlusssequenz wiederum Kameraausfahrt aus dem Bergwerk, mit fließendem Flug knapp über dem Wasser des Langmoosbachs. Danach Bewegung zu den aktuellen Ausgrabungsflächen, mit Übergang von Drahtgitter zu fotorealistischen Modell. Im Anschluss senkrechte Kamerafahrt nach oben über das Hochtal.

Den Abschluss bildet eine Schrägansicht des Gräberfeldbereichs mit Überblendung der Altgrabungen und der Gesamtausdehnung gefolgt von einem Standbild der Abschlusszene (Siehe Abb. 45 - links).

11. ArchaeoBits: Hallstatt - Virtueller Bergwerksflug

Es sollte mit dem real produzierten Teil der 3D-Dokumentation in den Filmaufnahmen so abgestimmt werden, dass beim Start der Sequenz nach kurzem Standbild ein Schwenk aus dem Ostvortrieb erfolgt, hin zur Fundstelle der Stiege.

Danach folgt ein kurzes Standbild am Stiegenabdruck und Einblenden der originalen Holzstiege. In Folge Weiterflug bis zu den Hölzern des Schachtversturzes im Vortrieb 6 und zum Endpunkt der Szene (Siehe Abb. 45 - rechts).



Abbildung 45: Animationsbeispiele Hallstatt 10 und 11 - Überblick mit Gräberfeld und Detail Stiege (Quelle: Links: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien. Rechts: Vom Autor und A. Linzbauer 2019, ArchaeoBits: Hallstatt, Fotos Stiege - A. W. Rausch, NHM Wien))

Durchführung

Bei der Erstellung der einzelnen Animationen wurde immer nach gleichem Schema vorgegangen, deshalb beziehen sich die folgenden Beschreibungen auf alle produzierten Sequenzen.

Für das Projekt war ein Gesamtzeitraum von ca. 6 Monaten verfügbar. Die wissenschaftliche Beratung und die Bereitstellung aller benötigten Daten übernahmen A. Kern und Mitarbeiter der PA des NHM Wien.

A. Rausch und J. Klammer waren für die Erhebung aller für die Produktion relevanten Daten, wie z.B. Messpunkte, Pläne, Fotos, etc. verantwortlich.

Die einzelnen Animationssequenzen wurden zur besseren Planung und Vorgehensweise durchnummeriert. Vom Autor wurden benötigte 3D-Modelle mittels IBM-Methoden gerechnet oder komplett neu modelliert.

Dazu wurden alle vorhandenen Fotos und Messpunkte der Altgrabungen, teilweise ab dem Jahr 2007 nach Tauglichkeit für eine 3D-Modellierung sortiert. Die verwertbaren Rohdaten bestanden manchmal aus nur 10-15 Fotos, um trotzdem gute Ergebnisse zu erhalten wurde in den IBM-Programmen mit den höchsten Einstellungen gearbeitet.

Die Dokumentation der ehemaligen Grabungen, war trotz der langen Zeitspanne

so gut, dass in allen Bereichen der benötigten Gräberfeld Szenen genügend hochauflöste 3D-Daten exportiert werden konnten.

An den Modellen musste im Anschluss noch einiges nachbearbeitet werden, um das gewünschte Ergebnis zu erlangen.

Bei Animationsprojekten ist zu empfehlen, einen stetigen Überblick über den Arbeitsprozess zu haben.

Im nächsten Schritt fertigt man alle 3D-Rekonstruktionen, bzw. jene Objekte, die modelliert werden müssen, an. Dafür wurde hauptsächlich mit der 3D-Software *Blender* gearbeitet.

Dieser Teil ist mit dem größten Zeitaufwand verbunden und darf bei der Planung nicht unterschätzt werden.

Sind alle Modelle für die Animationen vorhanden, beginnt die eigentliche Erstellung der Filmsequenzen.

Im ersten Schritt werden die Szenen in den 3D-Programmen zusammengesetzt, das heißt alle benötigten Modelle werden angeordnet und richtig positioniert. Danach erfolgt eine grobe Texturierung und die Erstellung erster Voranimationen, die als Diskussionsgrundlage für mögliche Änderungen dienen.

Erst wenn diese Szenen von den Filmproduzenten bestätigt werden, beginnt die finale Animationsarbeit mit der Verfeinerung der Kameraführung, den Texturen und Effekten sowie dem finalen 4k-Rendering.

Auf Basis dieses Arbeitsschemas wurden alle oben beschriebenen Animationen fertig gestellt.

Ergebnis

Nach mehreren Änderungen und Verfeinerungen während des Produktionsprozesses wurden für die Terra Mater Produktion 14 Animationen in der Auflösung 4k und für ArchaeoBits: Hallstatt eine Animation in Full HD 1080p erstellt.

Bezüglich des TMFS Projekts konnten einige der erstellten Szenen aufgrund der zeitlichen Abfolge und des Schnitts im fertigen Dokumentationsfilm nicht gezeigt werden. Die gesammelten Inhalte sind ein guter Grundstock für die Wissensvermittlung der Fundstellenlandschaft von Hallstatt. Komplexe Bereiche, wie die schematischen Abbauhallen des Bergwerks, können Mithilfe von Filmen schnell und einfach erklärt werden. Die Einbettung der aktuellen Forschungsstollen in die rekonstruierten Hallen erzeugt ein noch deutlicheres Bild. Im Gräberfeld konnten durch den Ablauf der Befunde, je nach Grabungstiefe, jüngere und ältere Schichtverläufe kenntlich gemacht werden. Da Personen außerhalb der Archäologie manchmal Schwierigkeiten haben, stratigrafische Ablagerungsprozesse zu verstehen, sind Animationen hilfreiche Werkzeuge zur klaren Vermittlung wissenschaftlicher Inhalte. Zusätzlich sind Filme überall integrierbar, wieder neu arrangierbar (Schnitt) und aufgrund der häufigen Verwendung einer breiten Masse bekannt. Dadurch fällt die „Scheu“ der Besucher vor dem Unbekannten weg, was oft noch ein Problem bei VR-Inhalten darstellt. Die Filme wirken unterstützend z.B. zur Objektpräsentation von archäologischen Fundobjekten.

4.6 Fallstudie 05: Hochtal, UAV Gelände Prospektion

Ausgangslage

Mit den systematischen Befliegungen mittels UAV wurde in Hallstatt schon sehr früh begonnen. Eines der Ziele in allen untersuchten Gebieten war die Erstellung von neuen Rasterdaten oder die Ergänzung schon vorhandener.



Abbildung 46: UAV Schrägaufnahme Hallstatt Gräberfeld 2019 (Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.)

Die ersten systematischen Aufnahmen stammten aus den Jahren 2014-2015 und wurden im Bereich der Dammwiese auf 1357 m Höhe durchgeführt. Das Ziel war die Produktion möglichst genauer Rasterdaten, um eine Grundlage für die Lokalisierung der alten Pläne und Zeichnungen der Grabungsschnitte von 1887-1890 und 1936-1937 zu schaffen.

Die Vegetationsveränderungen im Hochmoor auf der Dammwiese sollten zusätzlich von Frühling bis Herbst dokumentiert werden, um mögliche Bewuchsmerkmale festzustellen.

Zur Klärung und Kartierung von Lichtverhältnissen wurde zu verschiedenen Tageszeiten geflogen. Als Grundlage für Berichte und Vorträge waren auch Schräg- und Senkrechtaufnahmen geplant.

Neben den Bildern aus der Luft, wurden zwischen 2014/2015 zum besseren Verständnis der Licht- und Wetterverhältnisse vom Spätherbst bis Frühling zwei Wet-

terkameras installiert.

Diese sollten die anfallenden Schneemengen während der Wintermonate protokollieren. Dazu wurden von Oktober bis Mai täglich, automatisch vier Fotos von der Dammwiese und parallel aus dem Hochtal angefertigt und nach Ablauf des Zeitraums miteinander verglichen.

2016 wurden Befliegungen im Hochtal durchgeführt, diese dienten zur 3D-Dokumentation eines Abschnitts des Langmoosbachs zur Dokumentation des Ausgangszustands vor Grabungsbeginn.

Der Bach wurde in Folge archäologisch untersucht und großflächig verbaut. Nach Abschluss der Arbeiten wurden zum Vergleich im Sommer 2019 erneute Befliegungen an der Fläche durchgeführt. Im selben Jahr wurden am Hausberg des Hochtals, am Gipfel des Plassens (ca. 2100 m), diverse Video- und Panoramaaufnahmen erstellt.

Im Jahr 2017 wurde als Vorbereitung für das VirtualArch-Projekt ein Survey zur Lokalisierung neuzeitlicher Bergbaue und dazugehörigen Strukturen gestartet. Dazu wurde zur Unterstützung auch ein Quadropter eingesetzt.²⁹⁹

Es handelte sich um die bisher größten Befliegungsflächen mittels UAV im Hochtal. Die Rohdaten dienten zur Erstellung von hochauflösenden 3D-Modellen der Landschaft und dem Export von diversen Rasterdaten.

Zusätzlich wurden während der Begehung Schrägaufnahmen und Landschaftspanoramen aus der Luft erstellt, diese dienten als Grundlage für Filmprojekte und für öffentliche Präsentationen.

Ein Hauptziel der Befliegungen bestand darin, möglichst exakte 3D-Landschaftsmodelle zu bilden, um sie als Grundlage für wissenschaftliche Auswertungen, interaktive Anwendungen und Animationen zu verwenden.

Für diese Zwecke wurden zusätzlich großflächige Daten benötigt. Diese wurden mithilfe frei zugänglicher DEMs und Luftbilder erstellt. Dazu wurden für Vergleiche auch Testmodelle mit Hilfe von Google Earth exportiert.³⁰⁰³⁰¹

Ein weiteres Ziel der Arbeit war die Erstellung eines hDEMs.³⁰² Dabei sollte mit vorhandenen historischen Luftbildern aus den 1950er Jahren ein Test der Geländerekonstruktion mittels IBM-Methoden durchgeführt werden.

Durchführung

Primär wurden alle Befliegungen in den diversen Bereichen des Hochtals mittels UAVs zum Zwecke der Rasterdaten Analyse und zur Erstellung hochauflösender 3D-Modelle des Ist-Zustands der Gebäude und Landschaft durchgeführt.

Ein weiterer Punkt, der in den letzten 2 Jahren immer wichtiger wurde, war die Produktion von Rohmaterial und Landschaftsaufnahmen für mögliche öffentliche Präsentationen des NHM Wien und der Salinen Austria AG (Siehe Abb. 46).

²⁹⁹ INTERREG VIRTUALARCH HALLSTATT 2017 (letzter Zugriff 28.09.2019).

³⁰⁰ Siehe auch: SKETCHFAB CRAZY EYE 2019b (letzter Zugriff 20.09.2019).

³⁰¹ GOOGLE EARTH 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019).

³⁰² SEVARA ET AL. 2017, 1-30.

Bei allen Projekten in Hallstatt wurden Quadrocopter der Firma *DJI* verwendet.³⁰³ Von Anfang an waren die Fluggeräte aufgrund der stabilen und einfachen Bedienung bestens für die Anforderungen in Hallstatt geeignet.

In diesem Teil der Arbeit soll auch die schnelle technische Entwicklung im Bereich der UAVs gezeigt werden, da bei den über mehrere Jahre andauernden Befliegungen fünf verschiedene Systeme verwendet wurden.

UAV Prospektionen 2014 und Wetterkamera Winter

Der Anfang der systematischen Befliegungen war im Herbst 2014 auf der Dammwiese. Das Ziel war es, Daten zur Lokalisierung der Grabungsschnitte von 1886-1937 zu sammeln und auf der Dammwiese ein aktuelles Messraster zu etablieren. Zusätzlich sollte zu verschiedenen Jahreszeiten beobachtet werden, ob im Gebiet des Hochmoores irgendwelche Bewuchs-, Schatten-, Feuchtigkeits- oder Trockenmerkmale sichtbar sind. Durch mehrere Befliegungen zu verschiedenen Jahreszeiten prüfte man, wann der beste Zeitpunkt zur Produktion von z.B. Geländemodellen ist, da zu üppige Vegetation zu einem verfälschten Bild der Oberfläche führt.

Die Befliegungen im Herbst wurden aus diesem Grund sehr spät, kurz vor dem ersten Schneefall durchgeführt, mit der Annahme, dass der Bewuchs aufgrund der Kälte schon größtenteils abgestorben sei. Leider war diese Annahme falsch und die Moor- und Sumpfpflanzen standen noch in vollem Grün. Die Befliegungen wurden trotzdem durchgeführt, primär mit dem Zweck der Orthofotoproduktion und zum Vergleich.

Davor wurde ein Messraster, bestehend aus 16 Holzpflocken angelegt und systematisch über die gesamte Fläche der Fundstelle verteilt. Die Einmessung der Punkte wurde im Frühsommer 2015 von J. Klammer und J. Rudorfer (NHM Wien) mittels RTK durchgeführt.

Für die Befliegungen von 2014 kam eine *DJI Phantom 1* zum Einsatz. Die Digitalkamera war am Bauch des Geräts mit selbstgebauter Halterung für die Aufnahme von Senkrechtaufnahmen montiert. Mit dieser Lösung konnten damals keine Schrägaufnahmen produziert werden. Zusätzlich lag die maximale Flugzeit der Phantom 1 zwischen 8-9 Minuten. Die Befliegungen mussten also sehr gut geplant und alle nötigen Vorarbeiten vor den Flügen abgeschlossen sein.

Insgesamt wurden 4 Akkus verwendet und per Stoppuhr die Flugzeit überprüft. Nach 7 Minuten wurde zur Sicherheit gelandet, um Abstürze zu vermeiden. Die Sicherheitseinstellungen des Kopters funktionierten aufgrund des sehr schlechten GPS-Empfangs auf der Dammwiese unzuverlässig. Ein automatisches Landen musste wegen der wasserführenden Bereiche im Moor verhindert werden. Aufgrund all dieser technischen Einschränkungen handelt es sich bei den produzierten Rasterdaten von 2014, im Vergleich zu den späteren, um die kleinste dokumentierte Fläche (Siehe Abb. 47 - links).

Da im Winter aufgrund der großen Schneemassen und der Höhe von ca. 1360 m Höhe eine Befliegung nicht sinnvoll bzw. sehr schwierig war, wurde während der Arbeiten im Herbst eine wetterfeste Kamera erhöht auf einem Baum installiert.

³⁰³ DJI 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019).

Sie wurde so positioniert, dass ein guter Überblick über die Fundstelle Dammwiese gegeben war. Bis Anfang Mai wurden täglich ca. 4 Bilder aufgenommen. So konnten auch genügend Informationen zu den Verhältnissen im Winter gesammelt werden (Siehe Abb. 47 - unten). Aufgrund der geringen Kosten der Kamera wurde zusätzlich ein Gerät am Rudolfssturm angebracht, um Vergleiche aus dem Bereich des Gräberfelds zu haben. Diese Daten waren für eine mögliche Interpretation der Dammwiese interessant, da eine der Forschungsfragen jene der ganzjährigen Besiedlung war.

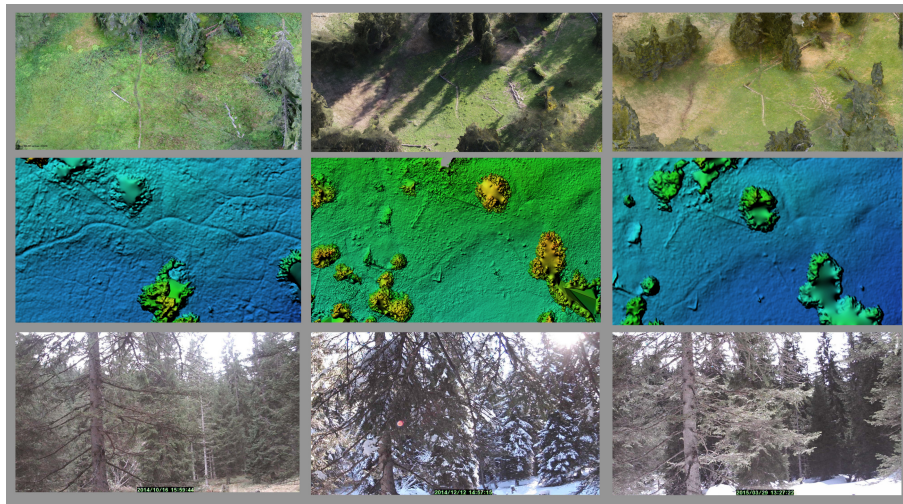


Abbildung 47: Ergebnisse der UAV Befliegungen von 2014 (links) bis 2015 (Mitte, rechts). Unten: Exportierte Bilder der Wetterkamera (Quelle: Erstellt vom Autor 2014-2015. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

UAV Prospektionen 2015

Direkt nach der Schneeschmelze wurde Ende Mai 2015 mit den Befliegungen auf der Dammwiese fortgefahren, allerdings mit der nächsten UAV Generation.

Zur Dokumentation wurde eine *DJI Phantom Vision +* verwendet. Bei diesem Kopter handelte es sich um das erste vollständige System aus integrierten 3-Achsen Gimbal und eingebauter Kamera. Das UAV war eine Weiterentwicklung der DJI Phantom 2. Über Tablet oder Smartphone war auch erstmals eine Live-Bild Übertragung ohne zusätzliche externe Geräte möglich.

Die Flugzeit pro Akku lag auch bedeutend höher, bei ca. 12-15 Minuten pro Batterie. Für die Prospektionen 2015 kamen pro Flugtag fünf Akkus zum Einsatz. Die Rohdaten wurden im RAW- und JPG-Format produziert.

Die DJI Phantom Vision + hat auch einen integrierten GPS-Sensor, so wurde in den EXIF-Daten auch die Position der Aufnahme in der Projektion WGS84 gespeichert. Die technischen Weiterentwicklungen im Vergleich zum Vorjahr waren

beachtlich.

Das erleichterte auch die Durchführung der Befliegungen enorm. Durch die Live-Übertragung vom Kopter wurden Fluginformationen, wie z.B. die restliche Flugzeit, die Höhe und Entfernung, etc. übertragen.

Die Befliegungen auf der Dammwiese von 2015 wurden an verschiedenen Tageszeiten durchgeführt, um die Lichtverhältnisse morgens und abends festzuhalten (Siehe Abb. 47 - Mitte und rechts und Abb. 48). Durch die Verlängerung der Flugzeit und das gezielte Vorgehen mittels der Bildübertragung, konnte eine fast doppelt so große Fläche wie 2014 dokumentiert werden.

Die Bewuchsverhältnisse kurz nach der Schneeschmelze waren perfekt für die Erstellung von Geländemodellen geeignet. Für die Georeferenzierung wurden die Messpunkte von 2014 verwendet. Aufgrund der Ansteuerung des Gimbals über die Fernsteuerung konnten neben Senkrecht- auch Schrägaufnahmen produziert werden. Zusätzlich wurde am zweiten Tag der Prospektion diverses Videorohmaterial von der Fundstelle Dammwiese produziert.

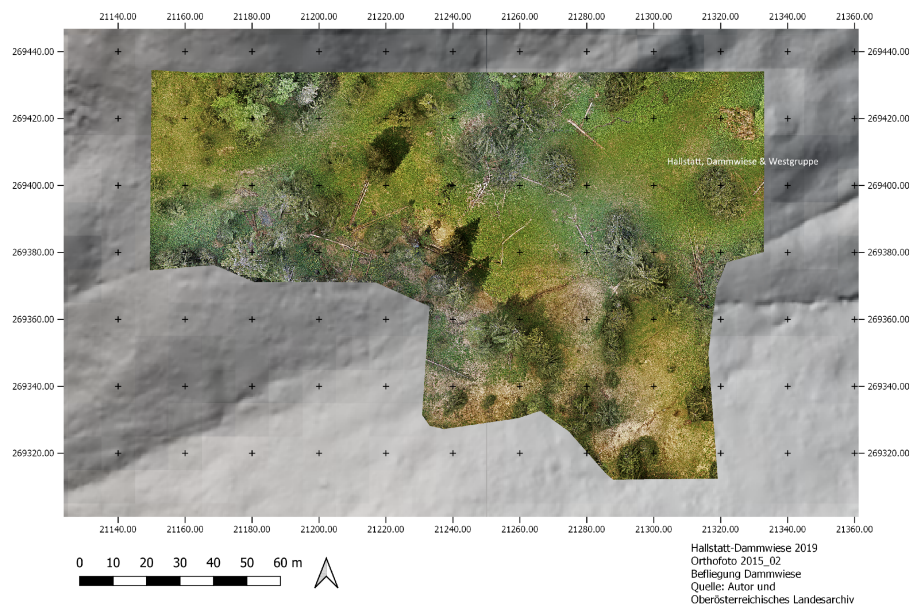


Abbildung 48: Orthofoto Frühjahr 2015 es wurde am Abend produziert. Hintergrund: Geländeschummerung (Quelle: Erstellt vom Autor 2014-2015. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

UAV Prospektionen 2016

In der Grabungskampagne am Gräberfeld im Sommer 2016 wurden archäologische Begleituntersuchungen bei der Neuverbauung des Langmoosbachs durch die Wildbach- und Lawinenverbauung Österreich durchgeführt.³⁰⁴

Die Ausgrabungen fanden direkt an den Flanken des Bachs statt. Im Vorfeld wurde die Ausgangssituation des Bachbetts vor den Arbeiten mittels einer Kombination aus Boden- und Luftaufnahmen 3D-dokumentiert. Die Gesamtlänge des dokumentierten Bachbettbereichs lag bei ca. 70 m.

Auch eine Gesamtbefliegung des Hochtals im Bereich des prähistorischen Gräberfeldes, zur Erfassung eines neu angelegten Transportweges, wurde im selben Jahr mittels UAV durchgeführt. Zur Referenzierung wurden neu angelegte und schon bestehende Fixpunkte aus den Ausgrabungen der Vorjahre, westlich und östlich des Langmoosbachs verwendet.

Zusätzlich wurden Video- und Schrägaufnahmen des Gräberfelds und des Bereichs um den Rudolfsurm angefertigt. Auch in diesem Jahr kam wieder ein leicht verändertes UAV-System zum Einsatz.

Die finale Version der *DJI Phantom 2* mit automatischen Gimbal und externen LCD-Bildschirm. Die verwendete Kamera war eine *GoPro Hero 4*. Mit dieser war auch das Aufnehmen von RAW-Fotos und das Filmen in 4k möglich. Die Flugzeit der DJI Phantom 2 war ident mit jener der Vision+ und lag bei ca. 15 Minuten.

Für die Arbeiten am Gräberfeld wurden sechs Akkus verwendet. Damit lag die mögliche Gesamtflugzeit, im Jahr 2016 bei ungefähr einer Stunde.

UAV Prospektionen 2017

Wie erwähnt, wurde als Vorbereitung für das Interreg VirtualArch-Projekt im Mai 2017 eine Geländebegehung durchgeführt.³⁰⁵

Diese hatte das Ziel Strukturen, die mit dem Bergbau in Zusammenhang standen, zu dokumentieren und zu kartieren. Bei den Befunden handelte es sich vor allem um Mundlöcher, Pingen, Gebäudereste etc.. Die Auswertung und Interpretation dieser Daten erfolgte im Jahr 2019 durch die noch unpublizierte Masterarbeit von T. Ragger.³⁰⁶

Zur Begleitung des Surveys wurden Befliegungen mit dem Zweck der großflächigen 3D-Geländedokumentation des gesamten Gebiets und zur Aufnahme größerer Befunde wie z.B. Gebäuderuinen durchgeführt. Zusätzlich wurde der Quadrocopter zur Produktion von Arbeitsaufnahmen in Form von Videos und Fotos eingesetzt. Das verwendete UAV-System in diesem Jahr bestand aus einer *DJI Phantom 3 Professional* mit einer Flugzeit von bis zu 20 min. Für das Survey wurden fünf Batterien verwendet. Das Gerät ist perfekt für die Begleitung archäologischer Begehungen geeignet. Die Live-Übertragung funktioniert in bis zu 800 m Entfernung einwandfrei, auch die Verbesserungen der Software und des eingebauten GPS-Sensors mit GLONASS führten zu einem präzisen und zuverlässigen Arbeitsablauf.

³⁰⁴ WILDBACH UND LAWINENVERBAUUNG 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019).

³⁰⁵ INTERREG VIRTUALARCH HALLSTATT 2017 (letzter Zugriff 28.09.2019).

³⁰⁶ RAGGER 2019, 5-203.

Mit dem Gerät wäre auch eine vollständig automatische Dokumentation möglich, mittels vorheriger Definition eines Flugrasters in der Software. Davon ist aber bei Flügen in alpinen Gebieten abzuraten. Zusätzliche Funktionen, wie Sensoren am Heck führen zu noch mehr Sicherheit im Flugverhalten.

UAV Filmaufnahmen 2018

Im Zuge der Produktion für die Animationen der Terra Mater Dokumentation wurden zusätzliche Aufnahmen aus der Luft benötigt. Der Einflug aus der Erdatmosphäre sollte nach dem 3D-Geländemodell in eine abgestimmte 4k-Videoaufnahme per Kopter erfolgen. Dabei wurde der Einflug von ca. 100 m über dem Hochtal bis in den Eingangsbereich des Kaiserin-Christina-Stollen möglichst schnell und fließend durchgeführt.

Aufgrund der Schwierigkeit dieser Aufnahme wurde ein anderes UAV-System verwendet: Die *DJI Mavick Air* hat eine sehr kleine und leichte Bauweise und ermöglicht schnelle und wendige Bewegungen, dadurch ist sie perfekt für den Einsatz von actionreichen Filmaufnahmen geeignet.

Die Flugzeit beträgt pro Akku ca. 12-15 Minuten. Am ganzen Körper des Fluggeräts befinden sich Sensoren, die sogar Innenraumdokumentationen ermöglichen. Der stabile, schräge Einflug bis in den Eingangsbereich des Christina-Stollens war mit diesem Fluggerät sicher umsetzbar. Zusätzlich wurden mit der DJI Phantom 3 parallel Senkrechtaufnahmen für ein Geländemodell als Grundlage für die Filmproduktion erstellt.

Aufgrund der Möglichkeit der Befliegung von Innenräumen wurde die DJI Mavick Air testweise auch unter dem Zelt der Gräberfeldgrabung 2019 eingesetzt.

Aufgrund des einfachen Transports des Geräts wurden in diesem Jahr auch Film- und Panoramaaufnahmen von der Plassenspitze auf 2100 m produziert.

Ergebnis

Aus Sicherheitsmaßnahmen wurden alle beschriebenen Befliegungen entweder außerhalb der Öffnungszeiten der Salzwelten oder in genügend Entfernung vom Hauptteil der touristischen Nutzung durchgeführt. Das Ergebnis aller Befliegungen von 2014-2019 sind ca. 0,5 Quadratkilometer an untersuchter Gesamtfläche. Alle produzierten Rohdaten wurden mittels IBM-Programmen weiter verarbeitet (Siehe Abb. 49). Von der Dammwiese sind diverse hochauflösende 3D-Modelle, digitale Geländemodelle und Orthofotos in verschiedener Qualität und Größe vorhanden. Zusätzlich wurden an allen produzierten DEMs noch Rasteranalysen durchgeführt. Für öffentliche Präsentationen produzierte man diverse Überblicks-, Schräg- und Videoaufnahmen.

Zusätzlich wurden im Jahr 2018 zur Erstellung von großflächigen 3D-Geländemodellen des gesamten Bereichs rund um den Hallstättersee frei zugängliche DEM-Daten in der Auflösung von 1-10 m gesammelt. Zur Erstellung der fotorealistischen Textur wurden freie Orthofotos vom Land Oberösterreich genutzt.³⁰⁷ Aus den Rohdaten wurde im ersten Schritt eine Punktwolke erstellt, danach in

³⁰⁷ DORIS 2019 (letzter Zugriff 18.09.2019).

Cloud Compare vermasht und in Blender unter Anwendung diverser Werkzeuge finalisiert, z. B. *Subsurface Scattering*, um einen höheren Detailgrad zu simulieren. Auch das *UV-Mapping* also die Texturierung erfolgte in Blender. Beide Rohdaten (DEM und Orthofoto) wurden in der erstellten Geodatenbank exakt auf den gleichen Bereich zugeschnitten.

Natürlich gibt es auch die Möglichkeit, das DEM direkt in Blender zu einem 3D-Landschaftsmodell zu rechnen, die Ergebnisse in Cloud Compare waren allerdings ansprechender.

Eine zweite Variante der großflächigen 3D-Geländerekonstruktion wurde mittels eines „virtuellen Drohnenflugs“ in Google Earth erstellt.

Dabei wird die Kamera im Flugzeugmodus über das betreffende Gelände geführt und alle 2-5 sek. Fotos exportiert. Diese sind dann mittels IBM-Methoden zu einem neuen 3D-Modell zusammengerechnet worden.

Zusätzlich wurde aus Luftbildern der 1950er Jahre versucht, ein hDEM zu erstellen um diverse Landschaftsveränderungen in z.B. Differenzanalysen sichtbar zu machen und zu kartieren.

Die Basis waren acht eingescannte Senkrechtaufnahmen in Schwarz-Weiß ohne Angabe irgendwelcher Quellen, zum Flugjahr oder der Kamera.

Die acht Einzelbilder wurden zuvor, nach dem Ablauf von C. Sevara folgend, bearbeitet: Die Auflösung wurde auf 23 x 23 cm pro Bild eingestellt und so zugeschnitten, dass die *Fiducial Marker* noch sichtbar waren. Die Fotos wurden im Format 32 bit Grayscale gespeichert, danach mit diversen Werkzeugen in der *FIJI* Version von *ImageJ* nachbearbeitet. In Folge wurden von dem Gebiet 20 Bodenpunkte definiert. Anschließend wurden in Agisoft Photoscan die Kamerakalibrierung neu vorgenommen auf Basis von aus den 1950er Jahren verwendeten Luftbildkameras und den markanten Fiducial Markern. Neben den neuen Bodenpunkten wurden auch die Marker in den vier Ecken verwendet. Es ist gelungen vier der acht Fotos lagegerecht auszurichten.³⁰⁸

Die Auflösung der Geländemodelle war trotz der höchsten Einstellungen beim Entstehungsprozess eher mittelmäßig.

Zu den hDEMs ist ergänzend zu erwähnen, dass kleine Bereiche auf den Bildern rekonstruiert und als DEM exportiert werden konnten.

Ein gutes Ergebnis lieferte der Export eines zusammenhängenden echten Orthofotos aus den 1950er Jahren. Die Produktion von hDEMs hat großes Potenzial, wenn die Originaldaten und die exakten Kameraparameter bekannt sind. Zusätzlich müssten in diversen Archiven noch mehr Senkrecht- und Schrägaufnahmen von Hallstatt aus derselben Zeit recherchiert werden. Die Anzahl und die Überlappung der Bilder war in großen Teilen zu wenig. Dennoch ist der Export von 3D-Daten aus vier der acht Bilder gelungen.

Bei den Befliegungen von 2017-2019 im Gräberfeld und der Oberflächenbegehung waren die Ergebnisse durch den technischen Fortschritt und mehr Erfahrung in besserer Auflösung und Qualität vorhanden. Diese Daten wurden hauptsächlich

³⁰⁸ SEVARA ET AL. 2017, 1-30.

zur Rohmaterialgewinnung produziert und vom Autor nicht ausgewertet.

Durch die seit 2014 durchgängigen Befliegungen im Hochtal von Hallstatt ist eine große Anzahl an Daten entstanden. Der Einsatz von UAVs ist ein großer Mehrwert für archäologische Feldkampagnen. Vor allem die schnelle Weiterentwicklung der LiPo-Akkus und der Kameras, ermöglicht auch gezielte großflächige Anwendungen. So können aktuell in einer Arbeitswoche mit guter Planung auch Flächen von 1-2 Quadratkilometer dokumentiert werden. Natürlich ist das noch immer wenig, im Vergleich zu einem Flugzeug, aber der Kosten-Nutzen-Faktor ist enorm.

Die Ergebnisse der 3D-Landschaftsrekonstruktion auf Basis von DEM- bzw. aus LiDAR-Daten ist eine hervorragende Art als Vermittlungswerkzeug von großflächigen oder geografisch getrennten Räumen. Da es sich um ein exaktes Abbild der realen Landschaft handelt, bietet es eine gute Grundlage für VR-Anwendungen und eine Basis für die Integration anderer Inhalte wie z.B. Ausgrabungen. Aufgrund der bewuchslosen Oberflächen kann die Landschaft nach belieben texturiert und nach wissenschaftlichen Ergebnissen bepflanzt werden. So können auch geologische Prozesse oder z.B. eine Darstellung der Landschaft in der Eiszeit präsentiert werden.

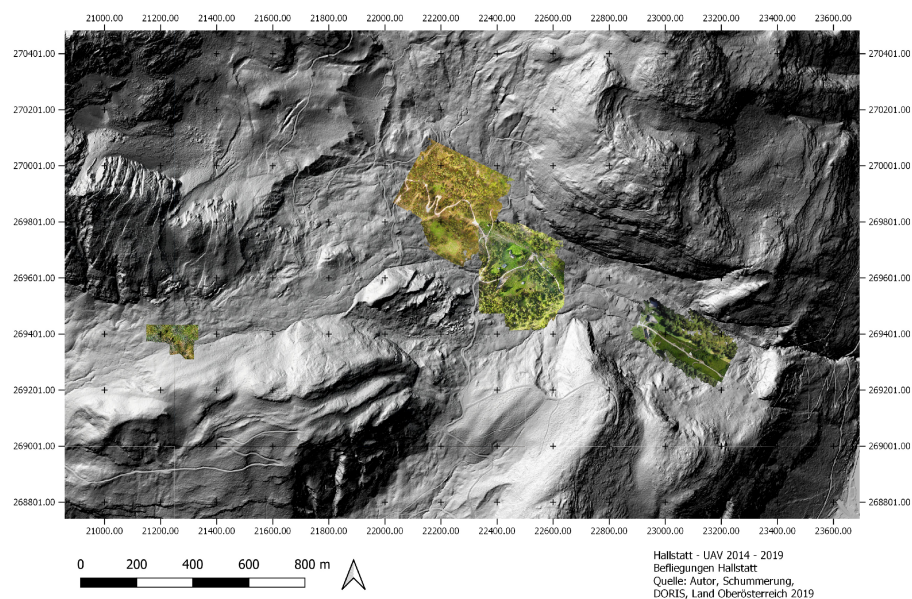


Abbildung 49: Die erstellten Orthofotos von 2014-2019. Hintergrund: Geländeschummerung (Quelle: Erstellt vom Autor 2014-2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2019 produziert. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

4.7 Fallstudie 06: Hochtal, Augmented Reality Poster

Ausgangslage

Die große Anzahl an produzierten 3D-Daten sollte auf die Tauglichkeit im Bereich Augmented Reality Anwendung geprüft werden. Die Idee wurde gemeinsam mit Kollegen von *Crazy Eye* entwickelt. Das Design des Posters übernahm A. Linzbauer, die Texte wurden von R. Weßling und R. Skomorowski verfasst. Der Teilbereich des Autors bestand in der Erstellung und Entwicklung einer mobilen AR-Applikation.

Diese sollte mittels sechs ausgewählten Stationen, aus dem archäologischen Erbe des Hochtals von Hallstatt, ein realitätsnahes Erlebnis an jeden beliebigen Ort verfügbar machen. Zusätzlich sollten aktuell bekannte AR-Techniken angewendet und präsentiert werden, wie z.B. die Marker basierten, die Marker losen, jene mit Oberflächen-Tracking und Web-AR.

Als Grundlage sollte eine in blauen Gitterlinien ausgeführte 3D-Visualisierung des Hochtals mit dem Plassen dienen. Ein archäologischer Wanderpfad mit sechs Stationen führt den Besucher durch die Landschaft und ins Christian-von-Tusch-Werk. Eines der Ziele war die Überprüfung, wie authentisch die Erlebnisse vor Ort, mittels AR-Methoden an einen anderen Ort transportiert werden können, wie z.B. in ein Museum, einen Vortragsraum, etc..

Das fertige Poster wurde im Herbst 2018 auf der CHNT Wien präsentiert und wurde sogar mit einem Preis ausgezeichnet.³⁰⁹

Durchführung

Alle sechs Stationen der Applikation bzw. des Posters werden im Folgenden kurz beschrieben. Dabei wird auf die Technik und auch auf den Inhalt eingegangen. Für die Stationen 1-5 wurde die Game Engine Unity mit dem integrierten *Vuforia*-Plugin verwendet.³¹⁰ Die Station sechs ist eine Web-Entwicklung auf Basis von *AR.js* nach den Ergebnissen von J. Etienne.³¹¹ Nach dem Start der Applikation folgt ein kurzes Intro, danach gelangt der Nutzer ins Hauptmenü, wo im Hintergrund dasselbe Design wie im Poster aufgegriffen wurde. Eine Darstellung des Geländes in blauen Gitterlinien vor schwarzem Hintergrund. Der Titel lautet „PREHISTORIC HALLSTATT - AR EXPERIENCE“ (Siehe Abb. 50). Darunter befinden sich drei Auswahlbuttons im Zentrum des Bildes: Start AR Tour, Help und Quit. Es sollte alles so einfach wie möglich gestaltet sein, deshalb wurde während der Entwicklung auf mehr Steuerelemente verzichtet.

Die Umsetzung der präsentierten Beispiele wäre auch mit Werkzeugen wie *AR-Core* oder *AR-Kit* möglich gewesen.³¹² Aufgrund des kurzen Zeitfensters und der einfachen, schnellen Erstellung wurde Unity mit dem Vuforia-Plugin verwendet.

³⁰⁹ CHNT 2018 (letzter Zugriff 20.09.2019).

³¹⁰ VUFORIA 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019).

³¹¹ ETIENNE 2018 (letzter Zugriff 19.09.2019).

³¹² AR-CORE, GOOGLE 2019 (letzter Zugriff 19.09.2019); ARKIT, APPLE 2019 (letzter Zugriff 19.09.2019).



Abbildung 50: Das Menü der AR-Applikation *Prehistoric Hallstatt* (Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.)

Nach einem Klick auf Start gelangt man zur ersten Station:

Station 01 - Willkommen im Hochtal: Wie erwähnt, bildet den Hintergrund des Posters eine Geländevisualisierung des Hochtals in blauen Gitterlinien mit Blick in Richtung Plassen. Im Vordergrund wird die Szene durch die Felsen an der Bergstation begrenzt. So sind alle Bereiche vom Gräberfeld, über den prähistorischen Bergbau, bis zur Dammwiese sichtbar.

Nach dem Start kann das Endgerät (Smartphone oder Tablet) auf den Hintergrund des Posters gerichtet werden und eine Überblendung derselben Szene mit fotorealistischer Überblendung taucht auf. Es wird ein digitales Sichtfenster ins heutige Hochtal geschaffen.

Wie in einer realen Führung kann anhand dieser Szene z.B. näher auf einzelne Bereiche der Tour oder auf das rezente Hochtal eingegangen werden.

Der Blick ist ähnlich jenem von der Panoramabrücke im Hochtal (Siehe Abb. 51). Die verwendete Technik ist auf Marker basierendes Augmented Reality, wobei der Hintergrund des Posters den Markerinhalt bildet.

Für diese und alle folgenden Stationen wurden von A. Linzbauer Symbole im einheitlichen Design entworfen, die teilweise als Marker verwendet wurden. Zwischen den einzelnen Stationssymbolen ist ein Wanderpfad als rote Strichlinie dargestellt (Siehe Abb. 55).

Links oben am Bildschirm befindet sich ein Button, um zur nächsten Station zu gelangen, der Button rechts führt zurück ins Hauptmenü. Diese Schaltflächen sowie

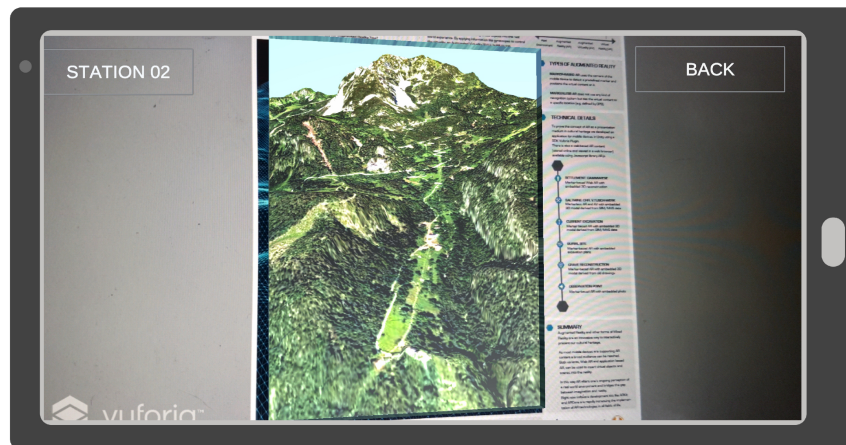


Abbildung 51: Die erste Station mit Blick ins Hochtal (Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.)

Beschreibungen links unten sind in jeder Station gleich ausgeführt.

Station 02 - Grabrekonstruktion Ramsauer: Auf Basis der herausragenden Dokumentation der freigelegten Gräber aus dem späten 19. Jahrhundert, war es möglich ein gläsernes Schaugrab aus den Originaldaten zu rekonstruieren.

Es wurden drei reiche Grabbefunde ausgewählt, an welchen nicht nur die Fläche, sondern auch die Profile mittels Aquarellen dokumentiert waren (Siehe Abb. 52). Das Symbol und gleichzeitig der digital-signierte Marker für diese Station ist ein roter Totenkopf vor weißem Hintergrund. Neben dem 3D-Modell ist auch eine statische Kurzinformation vorhanden.

Station 03 - Gesamtausdehnung Gräberfeld: Das Symbol für diesen Bereich und wieder der Marker zur Positionierung des Modells, sind Striche und Hügel als Zeichen für ein Gräberfeld. Auch diese sind in roter Farbe vor weißem Hintergrund entworfen.

Richtet man das Smartphone auf den Marker, wird ein 1:1 Plan der Ausgrabungsflächen von 1850 bis 2018 mit farblicher Unterteilung und links unten, die zugehörige Legende über das Geländemodell projiziert.

Der Nutzer kann sich zur besseren Sichtbarkeit beliebig nähern. Wichtig ist nur, wie bei allen markerbasierten Stationen, dass das Symbol nicht aus dem Bereich des Kameraausschnitts verschwindet.

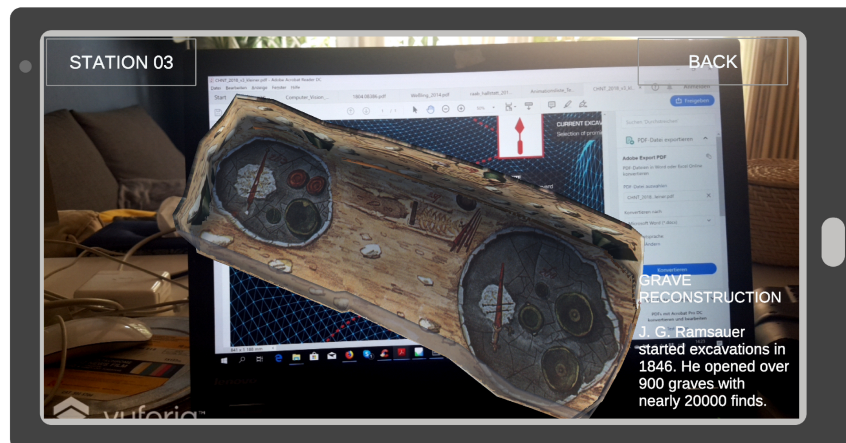


Abbildung 52: Virtuelle Schaugräber der Ramsauer Grabungen (Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.)

Station 04 - Gräberfeld aktuelle Forschung: Die erstellten Daten stammen aus alten Grabungsfotos, die mittels IBM-Methoden zu einem Modell zusammengefügt wurden. Es bildet den Inhalt für diese Station.

Über den Marker, der aus einer roten Kelle vor weißem Hintergrund besteht, wurde ein fotorealistisches Modell einer Männerbestattung und im unteren Bereich das 2011 entdeckte Kuh-Kälbchen Gefäß eingeblendet. Wenn man die Grabung genauer untersucht, entdeckt der Nutzer noch einen Prunkdolch, Bratspieße, etc..

Station 05 - Christian-von-Tusch-Werk, virtueller Durchgang: In dieser Station wurde das erstellte 3D-Gesamtmodell der Ausgrabungsstollen im Christian-von-Tusch-Werk für Besucher erleb- und betretbar gemacht.

Die Nutzer brauchten zum Erleben des Inhalts keinen Marker, sondern das Modell wurde frei in einen beliebigen Raum projiziert.

Die Größe wurde ungefähr im Maßstab 1:1 vordefiniert, kann aber mittels zwei Fingern angepasst werden. Zusätzlich kann das Modell rotiert werden, um so z.B. eine Draufsicht auf die Gesamtausdehnung der Forschungsstollen zu geben.

Die angewandte Technik basierte nicht auf vordefinierten Markern, sondern die Kamera scannte die Umgebung auf gerade Oberflächen und der Benutzer kann das Modell einfach durch einen Klick auf den Bildschirm im Raum einblenden.

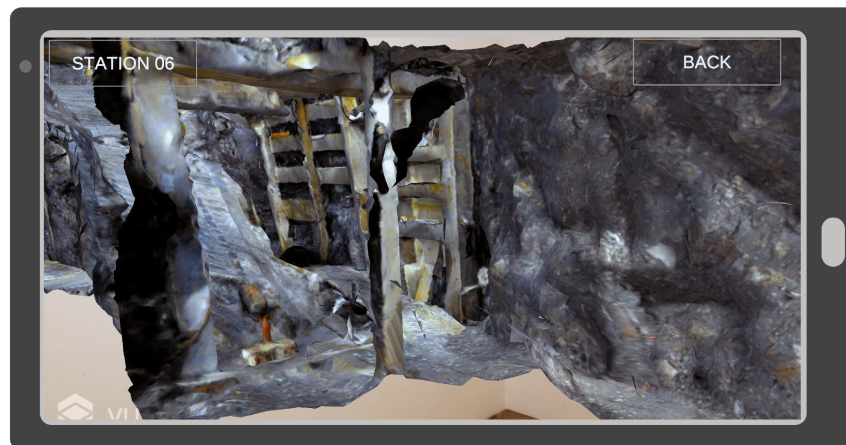


Abbildung 53: AR-Tour durch die Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk (Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.)

Durch in den mobilen Endgeräten eingebauten Sensoren, wie einem Gyroskop und Geschwindigkeitsmessern ist es möglich im Raum durch die Stollen zu gehen und auch Bereiche, wie z. B. den Stiegenabdruck zu erkunden (Siehe Abb. 53).

Dadurch ist eine virtuelle Führung durch das virtuelle Abbild des bronzezeitlichen Abbaubereichs an jedem Ort der Welt möglich. Natürlich musste das 3D-Modell im Vorfeld für die AR-Anwendung stark dezimiert werden. Bei den Texturen wurde versucht wenig Qualität zu verlieren.

Station 06 - Dammwiese, Web-AR: Für die Visualisierung der Fundstelle Dammwiese wurde ein Blockhaus aus der Latènezeit nach einem Entwurf von W. Lobisser rekonstruiert.³¹³

Bei der angewandten Methodik handelt es sich um Web-AR. Bei diesem Beispiel kann der Inhalt unabhängig vom Betriebssystem und Endgerät einfach über einen Browser und Marker abgerufen werden. Die Erstellung des Inhalts erfolgte über AR.js in der Programmiersprache JavaScript. Die verwendeten Daten müssen dafür auf einen Server geladen werden und der Inhalt ist jederzeit verfügbar. Nach dem Aufrufen der Website am Endgerät, wird die Kamera aktiviert. Der Bildausschnitt muss auf den definierten Marker gerichtet werden und das modellierte Blockhaus taucht in der Szene auf (Siehe Abb. 54).

³¹³ LOBISSER 2015, 352.



Abbildung 54: WebVR Hausrekonstruktion Dammwiese.

Einfach auf https://interactive-art.at/crazy-eye/AR_Test02/ gehen und das Smartphone auf den Marker richten. (Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit W. Rechberger und der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.)

Ergebnis

Das Resultat war ein gedrucktes Medium, das überall hin transportiert und präsentiert werden kann. In Kombination mit der abgestimmten Applikation wird eine neue Art von Erlebnis für Ausstellungen, Vorträge, Museen etc. geboten.

Durch die Entwicklung der einzelnen Inhalte sollten verschiedene Arten von Techniken und das Potenzial von Augmented Reality Anwendungen gezeigt werden. Die Grundlage eines jeden interaktiven Inhalts bildet entweder ein rekonstruiertes oder mittels 3D-Dokumentation erstelltes Modell.

Als Testregion wurde bewusst ein Außenbereich gewählt, um ein möglichst realitätsnahes Bild auf 2D-Medien zu projizieren und zu vermitteln (z.B. einer Landschaft, Region).

Das Hochtal von Hallstatt eignet sich sehr gut, weil eine Vielzahl von 3D-Daten vorliegen und es zu den wichtigsten, touristischen und kulturellen Orten Mitteleuropas zählt.

Wie erwähnt, konnte die Idee und Umsetzung erfreulicherweise auch auf der Konferenz CHNT Wien 2018 überzeugen und die Präsentation wurde mit einem Preis im Bereich „neue Technologien“ prämiert (Siehe Abb. 55).³¹⁴

³¹⁴ CHNT 2018 (letzter Zugriff 20.09.2019).

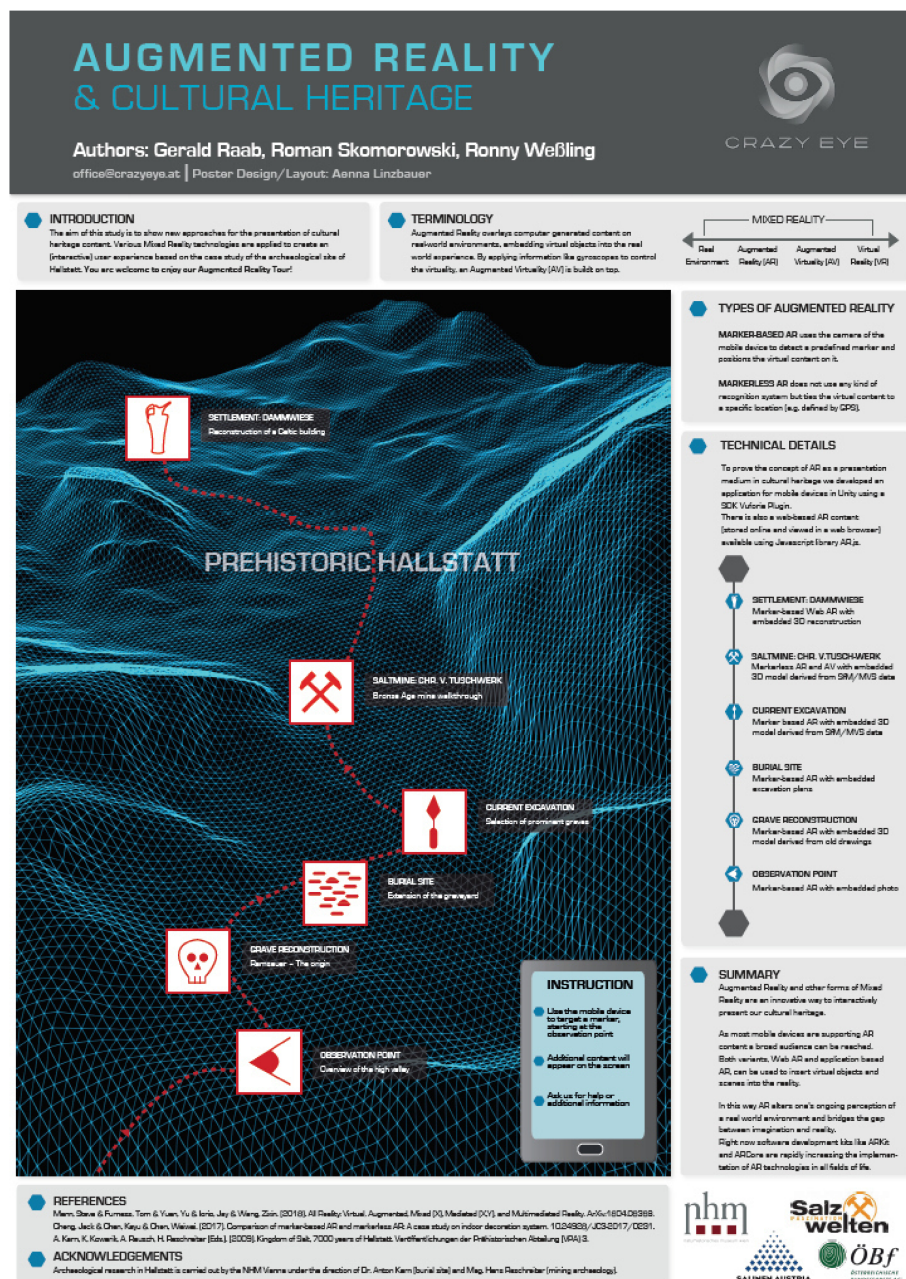


Abbildung 55: Das fertige Augmented Reality Poster (Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.)

4.8 Fallstudie 07: Dammwiese, Auswertung und Interpretation

Ausgangslage

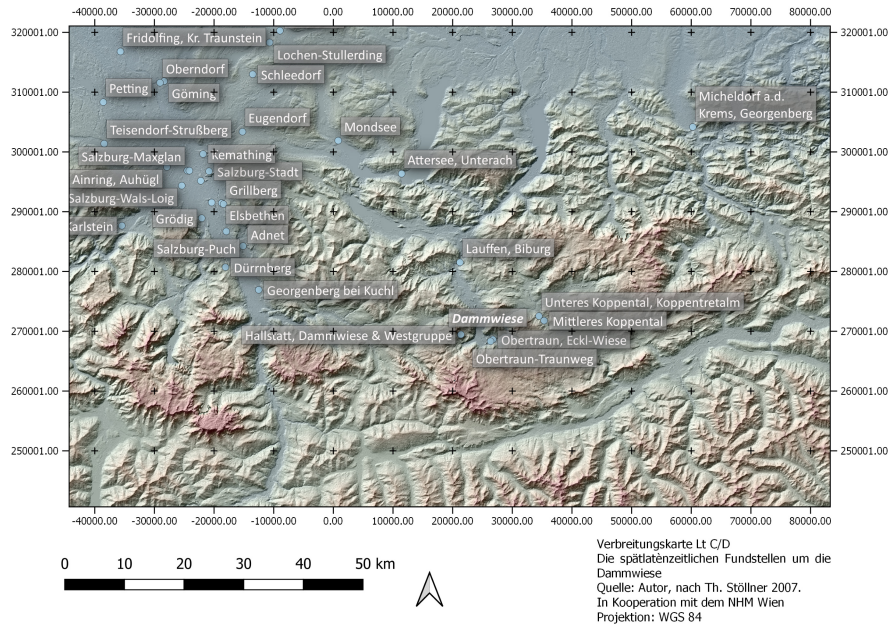


Abbildung 56: Die Fundstellen aus Lt C/D im Nahbereich der Dammwiese. Hintergrund: Geländeschummerung (Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Auf Basis der Daten von: Th. Stöllner 2007. Hintergrund: data.gv.at, Geländemodell Österreich, 10 m.)

Aufgrund der großen Überschneidungen, wie im Aufbau, dem Bezug zum Salzbergbau, dem Fundmaterial und der Befunde sind die Fundstellen Ramsautal und Bad Nauheim am ehesten für einen Vergleich für die Strukturen auf der Dammwiese geeignet. Dennoch soll hier ein kurzer Überblick zu latènezeitlichen Siedlungsformen in Ost- und Westösterreich gegeben werden.

Latènezeitliche Siedlungsformen allgemein

Im ausgewählten Untersuchungsgebiet wurde keine der bearbeiteten Siedlungen vollständig ausgegraben, daher war es schwierig Vergleiche anzustellen. Dieser Umstand führte dazu, dass bei der Entwicklung eines Siedlungsschemas geografisch weit entfernte Gebiete mit einbezogen wurden.

Allgemein können drei Formen von Siedlungen unterschieden werden.³¹⁵

Typ 1: Gehöfte

Typ 2: Dörfer

Typ 3: Oppidas oder stadtartige Strukturen

Gehöft

Diese haben meist einen landwirtschaftlichen Nutzen und bestehen aus Einzel- oder Gebäudegruppen. Die ungefähre Ausdehnung erstreckt sich auf Flächen von minimal ca. 30 x 40 m bis maximal 100 x 100 m. Das Gelände war oft durch Einfriedungen mittels Zäunen oder kleinen Gräben von der Umgebung abgegrenzt. Die Gebäude stellten wahrscheinlich den Wirtschafts- und Wohnbereich von Großfamilien dar.³¹⁶

Dorf

Das Dorf besteht aus mindestens zwei oder mehreren Gehöften. Die einzelnen Gebäudestrukturen liegen nahe aneinander, also an einem Platz oder Ort. Ein Dorf ist durchschnittlich größer als 1000 Quadratmeter und besitzt meist Wegsysteme, Plätze und klar abgegrenzte Bereiche, wie z.B. Grundstücks- oder Besitzgrenzen. Es kann eventuell auch ein Zentrum für den Austausch von Waren darstellen (Markt).³¹⁷

Oppida

Die größte latènezeitliche Siedlungsform bestand aus stadtartigen Großsiedlungen, den Oppidas.

Meist handelt es sich um befestigte Höhensiedlungen in prägnanter Lage auf z.B. Tafelbergen. Ab wann von einem Oppidum gesprochen werden kann, ist am ehesten über die Größe der Siedlung definiert.

Ab einer Ausdehnung von ca. 10 ha Fläche kann man die Bezeichnung Oppidum verwenden.

Auch die interne Aufteilung unterscheidet sich klar vom kleineren Dorf. So ist in Oppidas eine „räumlich-funktionale Trennung in einen ›Wohnbereich‹ und einen ›Handwerksbereich‹ mehrfach belegt.“³¹⁸

³¹⁵ KARL 1996, 90-91.

³¹⁶ KARL 1996, 90.

³¹⁷ KARL 1996, 105.

³¹⁸ AUGSTEIN 2006, 207.

Bebauungsstruktur

Wie erwähnt wurden wenige der Vergleichssiedlungen vollständig ausgegraben. Durch rezente Bodeneingriffe, wie durch Landwirtschaft sind die Befunde meist stark gestört und erschweren eine Interpretation.

Die erhaltenen inneren Bebauungsstrukturen der Siedlungen bestehen meist aus Gruben, Pfostenlöchern, Gräben/Gräbchen, Brunnen, Öfen.

Ganze Gebäudegrundrisse sind oft schwer zu identifizieren. In einzelnen Fällen ist eine klare Ausrichtung der Gebäude zueinander festzustellen. In Großsiedlungen können aufgeteilte Funktionsbereiche identifiziert werden. Die Nutzung des nahen Umfelds der Siedlungen besteht meist in Landwirtschaft, Rohstoffgewinnung und kultischer Form, wie z.B. Bestattungsplätze.

Handwerk

Ein großer Teil der Siedlungen der Latènezeit haben Handwerksbereiche. Sehr häufig sind Töpferöfen zur Herstellung von mehr oder weniger qualitativvoller Keramik nachgewiesen.

Ein besonderes Merkmal der Latènezeit ist das Auftauchen von Glasproduktionsstätten. Das beweisen z.B. Reste wie Glastropfen, Glasfluss, Halbfabrikate etc..

Eine Art von Metallverarbeitung ist in fast allen Siedlungen nachgewiesen.

So z.B. durch Reste wie Schlacken, Essen, Ambosse, Zangen, etc. In kleineren Siedlungen finden sich oft stark abgenutzte Schleifsteine.

Vor allem in der Spätlatènezeit gibt es stark spezialisierte Siedlungen, wie z. B. jene von Bad Nauheim und vermutlich auch die Dammwiese.³¹⁹

Bei den oben beschriebenen Einteilungen fällt die Gewerbesiedlung Dammwiese nach derzeitigem Forschungsstand am ehesten in den Bereich Dorf bzw. stark spezialisiertes Bergarbeiterdorf.

Vergleiche im Osten Österreichs

Ein Beispiel für ein latènezeitliches Dorf, aus dem Osten Österreichs, ist die großflächig ergrabene Siedlung von Inzersdorf-Walpersdorf.

Es handelt sich um eine Siedlung der Späthallstatt-/Frühlatènezeit. Die Befunde bestehen aus eingetieften Strukturen und dazwischenliegenden Gebäuden in „Ständerbautechnik“.

In der Siedlung konnten klar abgegrenzte Bereiche durch Palisadengräben festgestellt werden. Diese weisen auf Herrenhöfe hin, wie sie aus Bayern und Böhmen bekannt sind. Es sind auch mehrschiffige Gebäude nachgewiesen.

Bei der Keramik handelt es sich um Drehscheibenware in westlicher Tradition. In der Siedlung gab es wahrscheinlich eine Knochenschmuckproduktion und vielleicht auch Goldverarbeitung (Tiegelreste).³²⁰

Als weiteres Beispiel im Osten Österreichs ist unter dem Begriff „mittelgroße Zentralsiedlung“, die kürzlich ergrabene Siedlung von Haselbach zu nennen.

³¹⁹ AUGSTEIN 2006, 207-208.

³²⁰ RAMSL 1998, 52.

Diese zeigt einen regelmäßigen Aufbau, durch ähnliche Abstände der einzelnen Grubenhäuser. Leider sind aufgrund der starken Beackerung nur mehr wenige Pfostenlöcher bzw. aufgehende Strukturen erhalten.

Besonders hervorzuheben sind die zahlreichen Glasfunde, große Speichergruben, etc..³²¹

Alpine eisenzeitliche Siedlungstypen

Im alpinen Bereich handelt es sich meist um Höhengründungen. Diese befinden sich in Höhen von 540 - 1200 m.

Die Anlage der Siedlungen auf Höhenrücken- oder Plateaus wird im alpinen Bereich wegen der raren Ackerflächen im Tal und als Schutz vor Überschwemmungen angenommen. Eine Rolle hat sicher auch die natürliche Schutzfunktion, die Weitsicht und die Repräsentation gespielt.

Höhengründungen beschränken sich nicht nur auf das alpine Gebiet, nur sind sie dort aufgrund der topographischen Gegebenheiten die logische Siedlungsform.

In alpinen Regionen lassen sich drei Typen unterscheiden:

- 1) Auf einem Hügel gelegene Siedlungen: Diese sind klar vom Umland abgegrenzt.
- 2) Auf einem Plateau gelegene Siedlungen: Befinden sich auf flachen Bereichen von Mittelgebirgsterrassen. Die Siedlungen können auch durch eine Erhebung oder ein Tal vom restlichen Umfeld getrennt sein.
- 3) Auf einem größeren flachen Bereich: Diese werden meist von Terrassen gegliedert bzw. gebildet.³²²

Vergleiche im Westen Österreichs

Birgitz-Hohe Birga:

Die Häuser bestanden aus großen Steinen mit Lehmverputz. Zwischenräume wurden mit kleineren Steinmaterial verfüllt und durch Holzkonstruktionen gestützt. Jeweils 3-4 Häuser bildeten ein Gehöft.³²³

Alle Gebäude waren eingetieft und es wurden auch mehrgeschossige Häuser nachgewiesen. Am Südhang verlief ein 2 m breiter mit Steinen gepflasterter Weg. Die Siedlung lag auf einem Plateau und hatte eine Ausdehnung von ca. 50 x 100 m.³²⁴

Fließ-alte Volksschule:

Es wurden zwei Gebäude freigelegt. Der Grundriss der Häuser wird durch zwei mit Steinen verfüllte Gräben gebildet. Die Steine sind teilweise senkrecht gesetzt. Die Hauswände wurden vermutlich in „Schwellbalken-Ständerbautechnik“ auf dem Steinfundament errichtet.

³²¹ TREBSCHKE, FICHTL 2017, 18-19.

³²² WALDHART 2018, 9-10.

³²³ REES 2014, 54; Siehe auch: GLEIRSCHER 1984.

³²⁴ TURRI 2018, 31-32.

Zusätzlich wurde für den Aufbau der Wände noch Flechtwerk mit Lehmverputz verwendet.³²⁵

Bei den Häusern waren zwei Phasen nachweisbar.³²⁶

Ausgangslage Dammwiese

Im Zuge der Datensammlungen und Literaturrecherchen zur spätlatènezeitlichen Siedlung Dammwiese, sollen nach Vorgaben der Londoner Charta die Befunde interpretiert und ausgewertet werden. Das Ergebnis dieses Teilprojekts soll die Grundlage einer 3D-Rekonstruktion für einen Siedlungsbereich schaffen.³²⁷

Vom NHM Wien und dem Museum Hallstatt wurden dazu Scans der Grabungspläne von 1887-1890 zur Verfügung gestellt. Im Vorfeld wird eine GIS-Datenbank zur Dammwiese angelegt, wo alle gesammelten Informationen integriert werden, wie z.B. Literatur, Abbildungen, Skizzen, Pläne und exportierte Daten aus den UAV Befliegungen.

Die Literatur wird umfassend auf explizite Architekturhinweise gefiltert.

Auf Basis dieser Grundlagen soll die exakte Lage der Grabungen und somit der Befunde geklärt werden. Ein weiteres Ziel ist die möglichst genaue Lokalisierung des Schnitts von 1936-1937, der durch das Museum Hallstatt angelegt wurde. Bei den Grabungen legte man ein Stollenhaus mit zugehörigem Mundloch frei.

Die Grundrisse und Profilpläne sollen dreidimensional nachgezeichnet werden. Das Resultat bildet ein fotorealistisches Modell der Grabungssituation von ca. 1890 für Interpretationszwecke.

Auf dieser Basis sollen in Zukunft Wissenschaftler die Grabung virtuell erleben und interpretieren können, wie z.B. in VR-Anwendungen.

Die 3D-Umzeichnung und lagegerechte Referenzierung der Grabungsschnitte soll in Kombination mit der Geodatenbank eine Grundlage für künftige Untersuchungen auf der Dammwiese bieten.

Das zweite Ziel ist, auf Basis dieser Vorarbeiten eine möglichst genaue Befundinterpretation mit z.B. Anzahl der Hausgrundrisse und den Verläufen der Bohlenwege und Kanäle zu erstellen, um in Folge eine möglichst genaue 3D-Rekonstruktion der ausgegrabenen Bereiche zu erstellen.

Durchführung

Über den Onlinekartenservice des Landes Oberösterreich *DORIS* wurde mit Hilfe der historischen und aktuellen Orthofotos sowie der Geländeschummerung in einer Auflösung von einem Meter eine erste Voranalyse online durchgeführt (Siehe Abb. 57).³²⁸

Dazu wurden Vektordaten aller im Gelände sichtbaren Strukturen angelegt. Hauptsächlich handelte es sich um neuzeitliche bzw. rezente Befunde, wie z.B. den zentral

³²⁵ WALLNER 2018, 41-42.

³²⁶ POELL 2014, 50-52.

³²⁷ DENARD ET AL. 2009, 5-12.

³²⁸ DORIS 2019 (letzter Zugriff 18.09.2019).

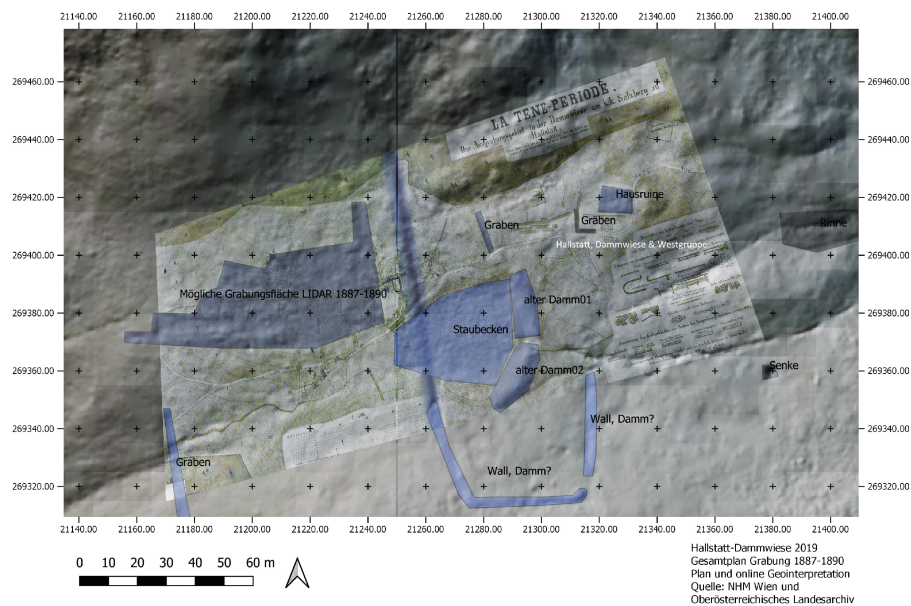


Abbildung 57: Erste Interpretation auf Basis von Geländemerkmale. Hintergrund: Gesamtplan Dammwiese 1887-1890, Geländeschummerung (Quelle: Vom Autor erstellt 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Plan: Salzreich, S. 160-161. Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv. Hintergrund: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

gelegenen Damm, Gebäuderuinen, das Wasserbassin etc.. Diese Befunde wurden umzeichnet und als Vektordateien exportiert (Shapefiles).

Vom NHM Wien und dem Museum Hallstatt wurden, wie erwähnt freundlicherweise einige Scans der Pläne, Aquarelle und Skizzen der Grabungen von 1887-1890 zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden Darstellungen der Dammwiese auf alten Karten von ca. 1770 - 1890 mit dem Online Portal *Mapire* überprüft und einzelne Abbildungen gespeichert.³²⁹

Alle Daten wurden in die erstellte Geodatenbank „Dammwiese“ integriert und referenziert. Wie bei archäologischen Untersuchungen in Hallstatt üblich wurde in der Projektion *MGI Austria GK Central-31255* gearbeitet.

Als letzter Schritt der Datensammlung wurden die Orthofotos, digitalen Geländemodelle der UAV-Prospektionen und die produzierten Rasteranalysen aus externen Programmen dem GIS Projekt hinzugefügt. Diese Daten bestanden aus Visualisierungen wie z.B. Geländeschummerungen, low-relief Models (LRM), Slope und Openess, etc.³³⁰

³²⁹ **MAPIRE 2019** (letzter Zugriff 19.09.2019).

³³⁰ Siehe auch: **DONEUS 2013**, 6427-6440.

In Folge wurde eine umfassende Literatursammlung angelegt, aus der wiederum einzelne Pläne, Fotos, Luftbilder und Lagebeschreibungen exportiert und in das Projekt integriert wurden.

Auf Basis dieser Geodaten war eine ziemlich genaue Lokalisierung der Lagepläne von 1887-1890 möglich. Wegen der größeren Kartenausschnitte wurden großflächige Pläne als erstes bearbeitet. Vor der eigentlichen Referenzierung wurden alle vorhandenen Daten auf gleiche Darstellungen überprüft.

Dabei handelte es sich um Gemeinsamkeiten, wie Gebäudegrundrisse, Wege, Bachverläufe, Strukturen des Wasserbaues etc.. Wichtig war, dass die Elemente auf den alten Plänen und auf den schon referenzierten Geodaten sichtbar waren. In Folge wurden diese Überschneidungen als Punkte zur Entzerrung verwendet.

Die produzierten Daten des zweiten UAV-Flugs aus dem Jahr 2015 waren aufgrund der hohen Auflösung und wenig störenden Bewuchs eine gute Grundlage für die Lokalisierungen und weitere Analysen.

Die Lagebestimmung der alten Pläne und Aquarelle wurde auf zwei Arten durchgeführt, einerseits mit dem Standard Georeferenzierungswerkzeug aus *QGIS*, andererseits über das *Freehand Georeferencer Plugin*. Diese beiden Arten wurden miteinander verglichen, um eine noch exaktere Lokalisierung zu produzieren.

Am Ende wurden alle lagegerechten Pläne für zukünftige Nutzung inklusive *World Files* exportiert.

Für eine Interpretation der Befunde musste noch der Grabungsschnitt des Museum Hallstatt von 1936-1937 lokalisiert werden. In einer Veröffentlichung des Jahres 1939 wurde ein Foto vom südlich gegenüberliegenden Hang in Richtung Grabungsschnitt publiziert.³³¹

Auf der Abbildung ist der gesamte Bereich um das Wasserbassin der Dammwiese sichtbar. Am rechten Bildrand ist ein Teil des ehemaligen Wirtschaftsgebäudes mit der Bezeichnung *Heustadl* erkennbar. Im Hintergrund befinden sich die Hänge und Schotterablagerungen des Plassens (Siehe Abb. 58). Aufgrund des damaligen Bewuchs und des relativ kleinen Schnitts im Zentrum der Aufnahme kann eher vom Beginn der Ausgrabungen ausgegangen werden. Das Bild stammt am ehesten aus dem Frühsommer 1936. Auf dem Bild ist ein rechteckiger Schnitt von ca. 15 m Länge klar identifiziert und dadurch lokalisierbar. Die Endsituation der Grabung aus dem Spätherbst wurde nicht überliefert.

Zusätzlich geben die umfassenden Literaturquellen von F. Morton Hinweise zur Grabung und deren Ablauf.

Im Jahr 2015 wurde mittels UAV versucht, aus ungefähr der gleichen Position von damals ein Bild zu produzieren. Durch Vergleiche der beiden Fotos war es möglich, die Lage des Schnitts gut zu lokalisieren und zu umzeichnen.

Auf Basis all dieser Rasterdaten und den Informationen aus der Literatur wurde eine erste 2D-Interpretation auf Basis der Geodaten angefertigt.

Die detaillierten Pläne und Zeichnungen der Flächen und Profile von 1886-1890 wurden genutzt, um einen Großteil der sichtbaren Strukturen maßstabsgetreu und

³³¹ MORTON 1939, 22; Bild 26.

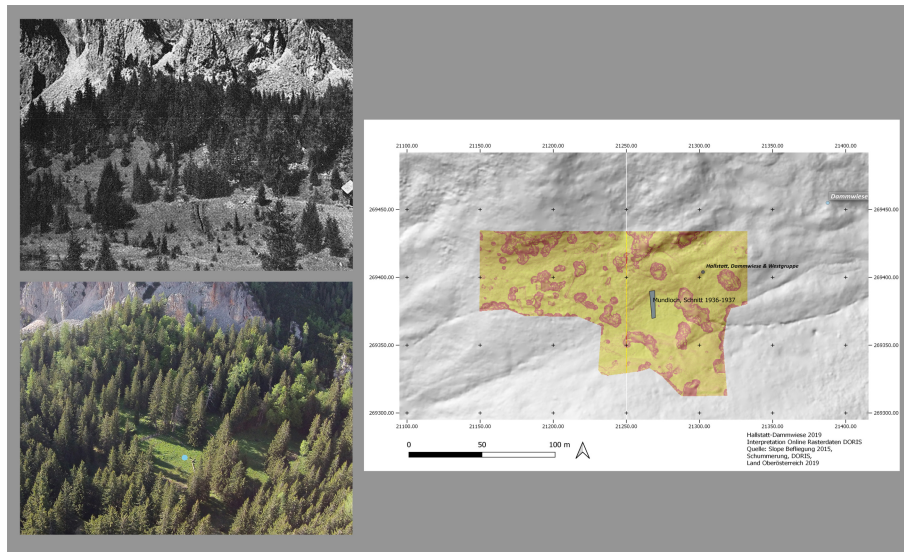


Abbildung 58: Links oben: Bild des Ausgrabungsschnittes von 1936/1937 im Bereich des Staubeckens. Links unten: Versuch einer ähnlichen Fotoposition mittels UAV 2015 zur Lokalisierung des Schnitts. Rechts: Georeferenzierte Umzeichnung des *Mundlochschnitts* Hintergrund: Hangneigung aus den UAV Daten 2015, Geländeschummerung (Quelle: Links oben: F. Morton 1939, Museum Hallstatt. Links unten und rechts: Erstellt vom Autor 2015-2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Hintergrund: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

dreidimensional zu umzeichnen, um so eine fotorealistische Rekonstruktion der Grabungssituation zu erstellen.

Da die alten Pläne schon eine erste Interpretation des Zeichners darstellen, handelt es sich genau genommen um eine Interpretation einer schon vorhandenen.

Das Potenzial dieses 3D-Modells für z. B. VR-Integration, den Export von Rasterdaten, Multimediapräsentation etc. ist sehr groß.

An dieser Stelle muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die detaillierte Rekonstruktion nur aufgrund der nahezu perfekten Erhaltungsbedingungen und dem Stand der damaligen Dokumentation möglich war.

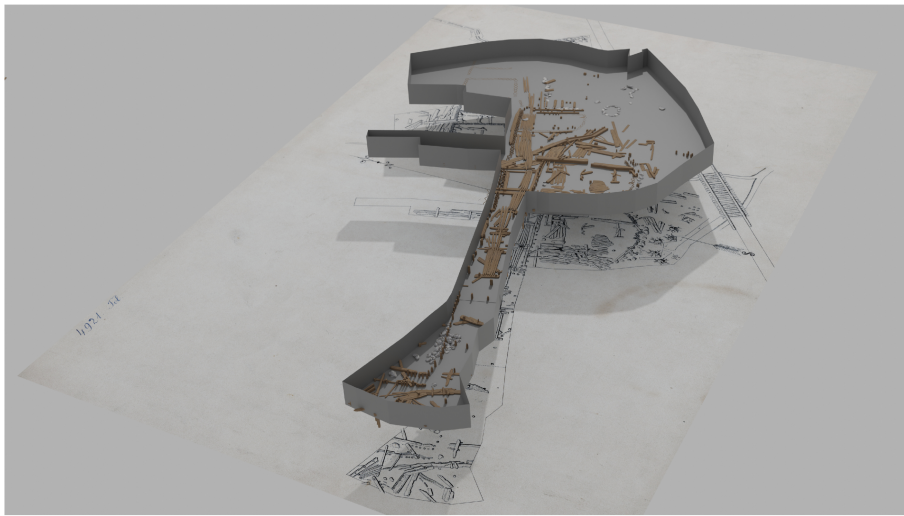


Abbildung 59: Zwischenstand der 3D-Visualisierung eines Ausschnitts der Grabung von 1887-1890. Hintergrund: Plan Dammwiese 1887-1890 (Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.)

Ergebnis

Interpretation der Befunde Dammwiese:

Für die Analyse dienen alle im Vorfeld erstellten und gesammelten Daten. Wie erwähnt, hat die Interpretation den Zweck der nachfolgenden Erstellung einer 3D-Rekonstruktion der Strukturen.

Vorhandene Überreste einer Siedlung

Das es sich bei den ergrabenen Strukturen teilweise um die Überreste einer Gewerbesiedlung handelte wurde schon in der Befundanalyse festgestellt. Die Befunde ähneln trotz dem zeitlichen Unterschied von ca. 150 Jahren sehr stark jenen der Siedlung Ramsautal am Dürrnberg.³³²

Aufgrund der Pläne und Beschreibungen ist von mindestens zwei verschiedenen Haustypen auszugehen.

Gebäudearchitektur:

Die Häuser und baulichen Strukturen der Dammwiese wurden als Schutz vor Feuchtigkeit im Moor meist auf rechteckigen Kalksteinfundamenten errichtet.

Die Steinstrukturen wurden von umgebenden Holzpiloten und Bretter- oder Flechtwerkwänden gestützt. Am Flechtwerk erhielt sich in manchen Fällen noch Reste

³³² ZELLER 1984, 199-202.

von Lehmverputz bzw. Hüttenlehm.

Durch das Anlagens der Fundamente werden klar abgegrenzte Bereiche definiert. In einem gezeichneten Grundriss im östlichen Bereich ist noch mehr von der Konstruktion des Unterbaus erhalten.

Wie es scheint, wurden in den Steinfundamenten teilweise kastenförmige, angekohlte Balkenkonstruktionen verwendet, ähnlich jenen bei Wallkonstruktionen der Eisenzeit. Es ist nicht erkennbar, ob die Steine nur als Verblendung bzw. als wasserdurchlässige Elemente im vorderen Teil der Fundamente und der hintere Teil mit lockeren Materialien verfüllt wurde.

Auf dem bearbeiteten Plan von 1887-1888 konnten ca. 10 Hausgrundrisse festgestellt werden. Dabei sind 3-4 eher kleinere Haustypen zu identifizieren und sechs große Gebäude. Die Grundfläche der Großen ist durchschnittlich ca. 5 x 6 m und der Kleinen ca. 4 x 2,5 m.

Von den Häusern bzw. Gebäuden sind meist nur noch Schwellbalken mit sichtbaren rechteckigen Zapfverbindungen erhalten.

Im Zentrum der Grabungspläne von 1887-1888 befindet sich ein sehr gut erhaltenes Gebäude (Siehe Abb. 60 und 61).

Bei diesem ist der Unterbau samt Bretterboden sichtbar und darauf teilweise die Bestandteile des verbrochenen Schindeldaches. Die umgestürzten Seitenwände sind vor allem im östlichen Teil gut erhalten.

Wahrscheinlich haben sie dem Schneedruck, nach Aufgabe der Siedlung nicht standgehalten. Die Wände bestehen aus Rundhölzern bzw. zugerichteten Stämmen und Holzbrettern diverser Größe. An der östlichen Seite sind noch Holzzapfen als verbindende Elemente zu den Schwellbalken sichtbar. In den Wandresten befindet sich eine rechteckige Bretterkonstruktion, die wie eine umgefallene Tür aussieht.

An drei Seiten sind noch gut erhaltene Schwellbalken sichtbar. An der Rückseite und Front des Gebäudes sind Reste des Fundaments aus den erwähnten Kalksteininseln, Piloten und Flechtwerk sichtbar. Bei manchen Grundrissen sind teilweise Steine durch Nachgeben des Flechtwerks nicht mehr in situ und halbrund ausgebrochen. Die in den Quellen oft erwähnten runden, durchlochten Steine sind Mühlsteinfragmente. In dem verwendeten Planausschnitt sind 5-6 Stück identifizierbar. Die gebrochenen Stücke waren vermutlich recycelte Bauelemente der Fundamente. Bei den dokumentierten Strukturen sind viele Parallelen zu jenen des Ramsautals am Dürrnberg erkennbar. Deshalb wurden für die Dammwiese die Entwürfe von W. Lobisser als Grundlage zur 3D-Rekonstruktion der Gebäude verwendet.³³³

Zu den Gebäuden ist weiters zu sagen, dass sie wie im Ramsautal dicht an dicht standen. Getrennt durch Gassen von Bohlenwegen und teilweise abgedeckten Kanalsystemen.

Bohlenwege und Wasserbauten:

Zwischen den Gebäuden verlaufen Bohlenwege die aus langen, schmalen Holzelementen, dicht an dicht gelegt, bestehen. Die Holzaufleger unter den Bohlen sind annähernd regelmäßig ca. alle 2 m ausgelegt und bestehen aus, mit Piloten fixierten

³³³ LOBISSER 2015, 352-353.

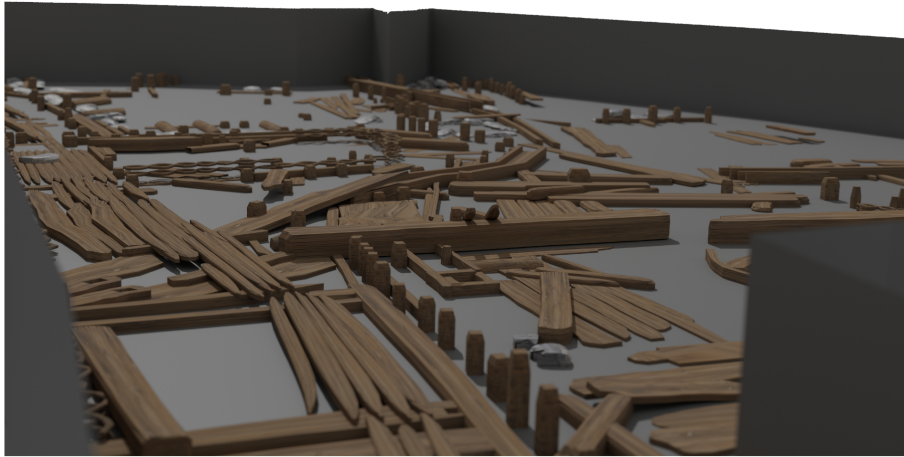


Abbildung 60: Einblick auf die fertige Grabungsvisualisierung Dammwiese. (Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.)

Holzblöcken. Oftmals sind schön ausgestemte Löcher für die Piloten vorhanden. Die beschriebenen Kanäle bzw. Wasserwerke verlaufen nahezu über die gesamte Grabungsfläche oft auch unter den Wegen. Sie haben einen maximal Durchmesser von ca. 1 x 1 m und sind mit Brettern abgedeckt und verschalt oder offen ausgeführt.

Interessant sind die in manchen Gebäudegrundrissen auftretenden, rechteckigen Öffnungen die scheinbar an Kanalstrukturen angebunden sind. Ob es sich einfach nur um ein Element der Fundamentdrainagierung oder um eine Art Abfallöffnung handelt ist unklar.

Die Konstruktion der Wasserbauten erfolgt in keinem einheitlichen Schema. Manchmal sind die Wasserrinnen vollständig mit Holz ausgekleidet und manchmal nur teilweise bis gar nicht.

Sie sind am ehesten als Drainagegräben zu interpretieren. Es wirkt so, dass sie sich in Richtung des heutigen Wasserbassins verbinden, südlich des rezenten Weges. Als Stützkonstruktion sind Holzrahmen mit Zapfenverbindungen regelmäßig verbaut. Diese Verbindungselemente sind bei allen vorhandenen Konstruktionen zu beobachten.

Geländemerkmal L-förmiger Wall

Im Süden des Wasserbassins ist auf der Geländeschummerung und in den Befliegungsdaten von 2015, ein rechteckiger bzw. L-förmiger Wall und ein möglicher Graben sichtbar.

Was der Zweck dieser Strukturen ist und ob sie in die Spätlatènezeit datieren kann

zu diesem Zeitpunkt nicht gesagt werden. Aufgrund der großen Anzahl der Kanäle und Entwässerungsgräben handelt es sich vielleicht um den Sammelpunkt des Wassers, wie eine Zisterne oder ein Becken. Das ist allerdings reine Spekulation des Autors.

Die Grabungen von 1936-1937

Die teilweise freigelegten Häuserfronten, Wege und Kanäle der Grabungen von 1936-1937 wurden fotografisch dokumentiert. Diese Daten sind eine große Hilfestellung bei der Rekonstruktion der Gebäude.

Bei den Untersuchungen durch das Museum Hallstatt legte man bei den Grabungskampagnen nicht nur das bekannte Mundlochhaus samt Stollen frei, sondern auch eine Art „Gassenschnitt“ mit Bohlenwegen und den Ansätzen von Gebäuden links und rechts.

Die geborgenen Bauteile des Mundlochs wurden auf der Dammwiese wieder aufgebaut. Die Fotografien bieten den einzig, erhaltenen „realen“ Einblick in vorhandene Strukturen und Schichten der Dammwiese.

Das Mundlochhaus bestand aus einem klassischen Blockbau mit teilweise rechteckig ausgearbeiteten Hölzern auf einem Kalksteinfundament.

Es musste sich im nördlichen Teil des Schnittes von 1936-1937 befunden haben, da die südliche Stelle die tiefste ist und so immer wieder Wasser in den Stollen eindringen würde (Siehe Abb. 58).

Allerdings handelt es sich bei dieser Interpretation um die Beschaffenheit des rezenten Geländes.

F. Morton folgte dem Stollen auf eine Länge von 9 m und in eine Tiefe von 5 m. Die Konstruktion bestand aus Rundhölzern (Stempeln). Der Boden war ähnlich den Bohlenwegen konstruiert.

Auf den Fotos der Häuserbestandteile sind massive, rechteckige Balken als Bauelemente sichtbar. Es wurden also nicht nur Blockhäuser aus Rundhölzern, sondern auch aus Hölzern mit rechteckigem Querschnitt konstruiert.

Ein Brand in der Siedlung?

Bei genauerer Durchsicht der dargestellten Befunde, fallen z.B. auch bei gut erhaltenen Gebäuden und einigen Kanälen „Ankohlungs-schraffierungen“ auf. An den angekohlten Balken ist sichtbar, wie der Urheber des Plans verbrannte Bereiche definierte, da es bei diesem keine Legende gibt.

Aufgrund der Beschreibungen in der Literatur von Brand- und Holzkohleschichten ist es möglich, dass die Siedlung einem Brand zum Opfer viel und anschließend nicht mehr aufgebaut wurde. Hinweise auf ein Schadfeuer zeigen nicht nur Ankohlungen an Holzbauelementen, sondern auch die stark angebrannten Kalksteine der Fundamente und auch die beschriebenen Brandschichten legen diese Vermutung nahe.

Funde und Funktionsbereiche

Ein Problem ist die genaue Definition von Funktionsbereichen auf der Dammwiese. Ausgenommen bei einer klaren Feuer- oder Ofenstelle gestaltet sich eine Einteilung

der Gebäude als sehr schwierig. Obwohl die Feuerstelle auch im Zusammenhang mit Eisenverarbeitung stehen kann, da auf der Dammwiese auch Schlackenreste im Fundmaterial vorhanden sind (siehe Tafel 07).

Grundlage hierfür wäre eine klare Zuordnung der Funde zu einzelnen Gebäudestrukturen. Das ist auf Basis der vorliegenden Daten nur schwer rekonstruierbar und benötigt eine intensive Auseinandersetzung mit dem Fundmaterial. Was gesagt werden kann ist, dass die Funde ähnlich der Fundstelle Ramsautal eindeutig auf eine an den Bergbau gebundene Gewerbesiedlung hinweisen. Beispiele hierfür sind z.B. die große Anzahl von Schleifsteinen, Schlackenfragmenten etc. (Siehe Tafel 06-07). Vielleicht ist nach einer vollständigen Durchsicht der originalen Grabungsdokumentation eine bessere Zuordnung zu einzelnen Strukturen möglich.

Im Zuge dieser Arbeit war nur eine Unterteilung des Fundmaterials von 1887-1890 mit ca. 150 Einzelobjekten und die große Menge der Funde von 1936-1937 möglich. Wie erwähnt, können all diese spezifischen Fragen nur aufbauend in einer eigenen Arbeit zum Fundmaterial behandelt werden.

Interpretation einer Saline auf der Dammwiese

Wenn man die Beschreibungen und Pläne der Dammwiesengrabungen mit jenen von Bad Nauheim oder auch Schwäbisch Hall vergleicht, so sind auf den ersten Blick starke Überschneidungen feststellbar. Bei den Befunden der Dammwiese ist es im Unterschied zu Bad Nauheim allerdings logisch, dass eine große Anzahl von Kanälen vorhanden ist, um das vorhandene Hochmoor trocken zu legen und eine Siedlung zu errichten.

In der Siedlung im Ramsautal handelt es sich um reine Drainagierungsgräben ohne Hinweise auf eine Salinenfunktion.

Auf der Dammwiese ist bis heute eine aktive Solequelle vorhanden. Das in der Latènezeit diese nutzbare Rohstoffquelle an der Oberfläche verwendet wurde ist denkbar. Durch das Freilegen des Stollens ist ein untertägiger Bergbau auf jeden Fall gesichert.

Folgende Befunde auf der Dammwiese überschneiden sich mit jenen von Bad Nauheim:

Die große Anzahl von Kanälen und Rinnwerken, der von F. Morton freigelegte Bottich mit Zu- und Ableitungen, der möglicherweise zum Absetzen der Sole diente. Schüttbühnen aus Stein, mehrfach beschriebene Becken, Flechtwerk mit Hüttenlehmresten, Schichten aus Kohle und Hüttenlehm. Die großen Mengen an Keramikscherben von großen Gefäßen, die verbrannten Kalksteine und die genannte Solequelle. Auch die apsidenförmigen Grundrisse aus Flechtwerk finden sich teilweise als Becken in den Befunden von Bad Nauheim wieder.

Feststellbare Unterschiede in den Fundstellen:

Auf der Dammwiese sind die meisten Kanäle mittels Holzbrettern abgedeckt. Zwei der Kanäle beginnen eindeutig in den Steinsockeln unter den Häuserbefunden (Drainage). Die Steinkonstruktionen haben oftmals rahmenartige Holzeinbauten. Eine Senke im Zentrum oder große rechteckige Holzbecken sind an den Plänen

von 1887-1888 nicht feststellbar. Allerdings sind auf dem großen Gesamtplan der Ausgrabungen von 1890 mehrere Strukturen sichtbar, die möglicherweise Becken darstellen.³³⁴

Am Ende bleibt zu sagen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass auf der Dammwiese zusätzlich zum herkömmlichen Untertagebergbau Salz durch Soleverdampfung gewonnen wurde, sehr wahrscheinlich ist.

Diese Frage können nur erneute Grabungen endgültig klären. Der im Südöstlichen Teil der Dammwiese und auf den Geländemodellen sichtbare, L-förmige Wall ist ein weiterer Hinweis auf mögliche Becken.

Gesichert ist, dass auf der Dammwiese eine enorme bauliche Leistung im Bereich Wasserbau vollbracht wurde. Egal, ob Sole zu transportieren oder normales Wasser abzuleiten.

Ich gehe bei meinen Rekonstruktionen nicht auf die Salzversiedung ein, da in dem behandelten Grabungsschnitt von 1887-1888 Hausstrukturen (Schwellbalken, Bretterböden und Holzschindeln), Kanäle und Bohlenwege sichtbar sind. Diese Strukturen sind eindeutig die Bestandteile von Gebäuden und Häusern mit zugehörigen Abgrenzungen und Wegen. Im Kapitel Diskussion wird nochmal auf diese Frage eingegangen.



Abbildung 61: Georeferenzierter Endstand 3D-Visualisierung der Grabung Dammwiese mit Gelände in Gitterlinien. (Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.)

³³⁴ HANSEN 2013, 91-94.

4.9 Fallstudie 08: Dammwiese, 3D-Keramikfunde

Ausgangslage

Die Keramikformen aus Latène D1/D2

Die Änderungen der allgemeinen Keramikformen ist in der Spätlatènezeit, im Vergleich zu den vorhergehenden Stufen nicht groß, dennoch lassen sich einige typische Elemente bestimmen.

Die typischen, bauchigen Schalen mit S-förmigen Profilen kommen weiterhin vor. Auch bauchige Kragenrandschalen sind in Lt D1/D2 vorhanden.

Neu sind zusätzliche Schalen mit scharfen S-Profilen vom Typ Békásmegyer. Fast alle Gefäße werden auf der Töpferscheibe produziert.

Bei den Einzugsrandschalen wird oft eine Wellenzier an der Innenseite verwendet. Außen sind sie teilweise mit unterbrochenen horizontalen Kammstrich verziert.

In Latène D1 gibt es mehr Fässchen als Töpfe. Diese sind meist auch mit Kammstrich verziert. Die Töpfe weisen S-Profile und einen hohen Bauchknick auf und sind meist wieder mit Kammstrich verziert. Die Wulstränder sind sehr stark ausgeprägt.

Das Auftreten der glatten, bemalten Keramik und auch das von Deckeln wird für Lt D1 angenommen.

Aufgrund weniger Fundkomplexe ist die Typenvariation von Lt D2 nicht so exakt ausgeführt wie in Lt D1, die Keramikformen unterscheiden sich allerdings kaum. Die Schalen vom Typ Békásmegyer und Schüsseln mit einziehendem Rand existieren weiterhin.

Die Schüsseln sind manchmal an den Innenflächen mit Linien- und Wellenbändern bemalt. Außen ist regelmäßiger oder unterbrochener Kammstrich vorhanden.

Bei den Fässchen tauchen nun Exemplare mit ausgeprägten Wulsträndern und manche mit ausgeprägten Dolienrändern auf. Auch hier ist auf den Außenseiten wieder regelmäßiger und unregelmäßiger Kammstrich vorhanden.

Besonders ist das Auftreten eines neuen bauchigen Flaschentyps mit engmündigen und kurzen Hals. Die Bemalungen mit Wellenbändern und Linien auf glatten Oberflächen sind auch typisch für diese Phase. Deckel treten auch in Lt D2 weiterhin auf.³³⁵

Eine genauere Einteilung kann über die diversen Ausführungen des Kammstrichs erfolgen:

Der feine Kammstrich kommt chronologisch nur in der Spätlatènezeit vor. Der grobe Kammstrich tritt auch schon früher auf.³³⁶

Der vertikale Feinkammstrich kommt erstmals zu Beginn von Lt D1 vor. Die schraffierten und gitterförmigen Ausführungen gehören Lt D1b an.³³⁷

³³⁵ KARL 1996, 35-40.

³³⁶ KAPPEL 1969, 55; Siehe auch: TREBSCHKE 2010, 334-335.

³³⁷ TREBSCHKE 2010, 334-335; Siehe auch: GEBHARD, WAGNER 2000, 171-177; DRDA, RYBOVA 1997, 101 Taf. 12; HECHT 1998, 62.

Das Auftreten von Feinkammstrichware reicht bis in die Stufe Lt D2³³⁸
Früher wurde davon ausgegangen, dass die Kammstrichware lokal in Manching produziert und von dort verhandelt wurde, diese Theorie ist allerdings durch den Nachweis von klar unterscheidbaren Werkstätten widerlegt.³³⁹

Zu den Einteilungen der Gefäßtypen mit feinen Kammstrich werden jene von den Fundstellen Manching und Basel kombiniert.³⁴⁰

Manching:

Tonne mit Randlippe, Becher mit Randlippe, Flasche, Topf, Deckel, Tonne mit ausgebogenen Rand, Becher mit ausgebogenen Rand, Topf.³⁴¹

Basel:

Schultertopf, kugelige Becher, Topf mit geschwungenen Rand.³⁴²

Auch in neueren Arbeiten wurde die Chronologie der Spätlatènezeit auf Basis der Fundstelle Basel - Gasfabrik erweitert und verfeinert.³⁴³

Diskussion über die Chronologie der Spätlatènezeit

Es muss erwähnt werden, dass die Datierung bzw. Chronologie besonders der ausgehenden Spätlatènezeit bis heute ein aktuell stark umstrittenes Thema der Forschung ist.

Es kommt immer wieder zu Fehlern, weil mehrere Formen der Datierung und alte Chronologien nach demselben Bildungsprozess geformt wurden.

Das Problem entsteht durch „die Verknüpfung eines historischen Datums mit dem künstlichen Modell einer Chronologie, und die Überzeugung, dieses Modell zum Maßstab kulturhistorischer Prozesse machen zu können.“ (MIRON 1991; 1998)

Bis heute wird in der Eisenzeitforschung ein altes und ein neues Datierungssystem für die Chronologie Süddeutschlands verwendet.³⁴⁴

Das alte Chronologiesystem datiert den Beginn von Lt D1a um 120 v. Chr., D1b um 60 v. Chr. und D2 um 40/30 v. Chr.³⁴⁵

Das neue System datiert den Beginn von Lt D1a um 150 v. Chr., D1b um 125 v. Chr., D2a um 85 v. Chr. und D2b um 45 v. Chr.³⁴⁶

Die Verwendung beider Systeme führt immer wieder zu Diskussionen.³⁴⁷

³³⁸ TREBSCHKE 2010, 334-335; Siehe auch: SCHREYER 1994, 120; RIECKHOFF 1995, 54; SCHOENBERGER 1952, 87, Taf. 11/18.

³³⁹ TREBSCHKE 2010, 335; Siehe auch: KAPPEL 1969, 74-75.

³⁴⁰ TREBSCHKE 2010, 334.

³⁴¹ KAPPEL 1969, Taf. 27/721; 28/722; 39/969; 43/1057; 40/985; 43/1052; 43/1051; 41/1017.

³⁴² FURGER-GUNTI, BERGER 1980, Taf. 84/1606; FURGER-GUNTI 1979, Taf. 20/327; FURGER-GUNTI, BERGER 1980, Taf. 87/1662.

³⁴³ STEINER 2012, 145-148.

³⁴⁴ RIECKHOFF 2008, 10; Siehe auch: RIECKHOFF 2018, 187.

³⁴⁵ GEBHARD 1991; 2004.

³⁴⁶ RIECKHOFF 1992; 1995.

³⁴⁷ RIECKHOFF 2008, 10.

Neben der Keramikchronologie ist die Fibeltypologie der Spätlatènezeit die gängige Form der Datierung.

Bei der 1937 auf der Dammwiese gefundenen Fibel, handelt es sich eindeutig um eine Nauheimer Fibel aus Lt D1 b (Siehe Tafel 08).³⁴⁸

Dokumentationsmethoden Keramikfunde Dammwiese

Ausgewählte Objekte aus dem Fundmaterial der Dammwiese sollten nach herkömmlichen Methoden gezeichnet und fotografiert werden.

Zusätzlich sollten vorwiegend von den Keramikfunden, im Maßstab 1:1, 3D-Repliken erstellt werden. Dabei sollte auch die Dauer der einzelnen Aufnahmeverfahren und Vor- und Nachteile jeder Methode protokolliert werden.

Bei den 3D-Fundobjekten sollte auch eine Mehrwertanalyse für Museen bzw. archäologische Sammlungen durchgeführt werden.

Auf manchen der Keramikfragmenten befanden sich eingeritzte Zeichen und Furchen des Kammstrichs. Es sollten verschiedene Arten z. B. der Beleuchtung oder der Oberflächendarstellung getestet werden, um diese Zierelemente in Folge besser sichtbar zu machen.

Von den Zeichnungen und Fotos wurden auch klassische archäologische Tafeln angefertigt. Zum Vergleich sollen aus den produzierten 3D-Daten z. B. auch Fototafeln exportiert werden.

Zusätzlich soll auf Basis der 3D-Kopien ein Ganzgefäß rekonstruiert und eine kombinierte Darstellung erstellt werden.

Durchführung

In dieser Arbeit werden hauptsächlich Vergleiche ausgewählter Methoden zur Funddokumentation präsentiert. Deshalb wurde nicht das gesamte Fundmaterial der Fundstelle Dammwiese bearbeitet.

Es soll auch keine Interpretation bzw. Datierung des Fundmaterials erfolgen, da es bewusst kein Teil der Fragestellung war.

In den folgenden Beispielen stehen Methoden und Möglichkeiten der Objektpräsentation und Vermittlung im Vordergrund.

Es wurden Objekte aus den Fundgattungen Keramik, Holz, Stein, Glas und Metall ausgewählt. Alle Objekte wurden gezeichnet und sind als Tafeln im Anhang vorhanden (siehe Tafeln 1-17).

Bei den angefertigten Zeichnungen handelt es sich um klassische Fundzeichnungen in Bleistift und Tusche.

Für die weiters angewandten Dokumentationsarten wurde hauptsächlich das Keramikmaterial bearbeitet.

Von den Fragmenten aus Graphitton wurden Fototafeln orthogonal von oben und seitliche Profilansichten mit Maßstab erstellt. Die Fotos wurden nach einem in der archäologischen Funddokumentation üblichen Schema angefertigt.

Von fast all diesen Graphittonfragmenten und einem bronzezeitlichen Werkzeugpfriem aus Bronze wurden zusätzlich 3D-Repliken angefertigt.

³⁴⁸ RICKHOFF 2007, 409-440.

Die Modelle wurden nach einem von R. Weßling angewandten Schema aufgenommen:

Dazu wird ein weißes Fotozelt mit indirekter Beleuchtung verwendet. Das zu dokumentierende Objekt montiert man auf einen Drehteller. Die Kamera wird davor positioniert und auf durchgängige Fokussierung, Tiefenschärfe und Vermeidung von Unschärfebereichen ist zu achten. Zusätzlich sollte nicht gezoomt und die Position der Kamera während der Dokumentation nicht verändert werden.

Das Objekt wird danach in gleichen Abständen weiter bewegt und pro Standpunkt ein Foto angefertigt.

Nach einer vollständigen Drehung wird das Fundobjekt um 90 Grad gedreht und der Vorgang wiederholt. So sind auch vorher verdeckte Bereiche sicher dokumentiert.³⁴⁹

Danach werden die Fotos in ein IBM-Programm übertragen und jede Abbildung einzeln maskiert. Um das Messen am Objekt zu ermöglichen muss zusätzlich noch ein Maßstab zur Referenzierung der Objekte definiert werden.

Die Sparse- und Dense Point Cloud werden mit den höchsten Einstellungen erstellt und gereinigt. Es soll eine möglichst hoch aufgelöste Geometrie bzw. Oberfläche der Funde entstehen. Dadurch können nachfolgende Analysen besser durchgeführt werden.

Das Polygonnetz sollte ohne zusätzliche Interpolation berechnet werden. Natürlich nur, wenn die Qualität, also die Dichte der Dense Cloud, ausreichend hoch genug ist.

Bei der Textur sind unscharfe Bereiche durch weiteres maskieren der Fotos zu vermeiden.

Ein produziertes 3D-Modell eines ausgewählten Fragments wurde testweise weiter verarbeitet. Das Ziel war aus dem bestehenden Modell eine Rekonstruktion des Gesamtgefäßes anzufertigen (Siehe Abb. 62).

Die Tatsache, dass die Objekte aus der Spätlatènezeit schon auf der Drehscheibe gefertigt waren, erleichterten dieses Vorhaben.

Vergleich 3D-Dokumentation Schnabelkanne Dürrnberg

Das Ziel der Dokumentation war einige Fragestellungen durch die Erstellung eines hochauflösenden 3D-Modells zu beantworten. Das angewandte Verfahren war IBM und ermöglichte aufgrund der hohen Auflösung das Erkennen kleinster Details an der Oberfläche. Auf Basis des 3D-Modells konnten z. B. auch nie da gewesene Ansichten der Verzierung, Spuren der Fertigung und antike Beschädigungen kartiert werden. Es konnte eine komplette wissenschaftliche Neubewertung der Kanne präsentiert werden. Die Schnabelkanne wurde auch museal aufbereitet. Dazu wurde das 3D-Modell in einem Touchscreen für Besucher präsentiert. Das Gefäß kann selbst mittels virtuellen Mikroskop erforscht werden.³⁵⁰

³⁴⁹ TANASI ET AL. 2019, 270-271.

³⁵⁰ WENDLING 2016, 148.

Ergebnis

Zeitlicher Aufwand:

Die Zeichnungen wurden punktiert und in hohem Detailgrad ausgeführt. Das Ergebnis waren 28 Zeichnungen die pro Fertigstellung einen Zeitaufwand von ca. 2 h benötigten.

Bei der Fundfotografie benötigte man bis zum Ergebnis, von der Aufnahme bis zur Freistellung der Bilder und Erstellung der Tafeln ca. 1 - 2 h Zeitaufwand. Es wurden insgesamt 220 Fotos von den Graphittonstücken produziert.

Die sechs produzierten 3D-Modelle von ausgewählten Funden haben bis zur Fertigstellung pro Stück ca. 2 - 3 h Aufwand benötigt.

Die Zeitspanne der Dokumentation ist also bei allen drei Arten ungefähr gleich.

Die Vorteile der 3D-Dokumentation zeigen sich erst nach der Fertigstellung des Modells bzw. aus den exportierten Daten.

Vorteile und Anwendungen von 3D-Repliken:

Die digitalen Kopien der Funde, ermöglichen mit relativ geringen Zeitaufwand den Export aller anderen produzierten Daten, wie z.B. Zeichnungen und Fotos.

Es handelt sich um die unverfälschte Kopie, des Ist-Zustands eines Objektes, zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Das Original kann, wie aktuell in Syrien, durch Krieg, Diebstahl, mutwillige Zerstörung und Hehlerei zerstört werden und deshalb für die Forschung nicht mehr verfügbar sein.

Aber nicht nur in Kriegsgebieten ist Kulturgut in Gefahr, so z.B. auch bei Feuer, Überschwemmungen oder anderen Naturkatastrophen, aber auch kleinere Schäden, wie dem teilweisen Abnutzen des Objekts im laufenden Museumsbetrieb sind Probleme.

Erst im Jahr 2018 ist das brasilianische Nationalmuseum vollständig abgebrannt. Bis heute ist der gesamte Schaden noch nicht erfasst. Tausende Funde z. B. aus der präkolumbianischen Zeit sind endgültig verloren.³⁵¹

Ab dem Jahr 2015 wurde das UNESCO Weltkulturerbe von Palmyra vom Islamischen Staat im Zuge von Propagandamaßnahmen systematisch zerstört. Seit 2016 wird über Methoden der virtuellen Archäologie und 3D-Rekonstruktion versucht, den ursprünglichen Zustand wieder so exakt wie möglich wiederherzustellen.³⁵²

Ein weiteres Beispiel für die Zerstörung von Kulturgütern ist der Einsturz des Kölner historischen Archivs von 2009. Nach dem Zusammenbruch des Gebäudes liegt ein großer Teil des Archivmaterials unter dem Grundwasserspiegel. Gerade für Pergament und Papier sind Beschädigungen durch Wasser besonders tragisch.³⁵³

3D-Repliken in Museen und Sammlungen:

Exakte digitale 1:1 Kopien von Objekten im Bestand des Museums bilden die zurzeit beste Art der digitalen Sicherung und Verwahrung von Kulturgut.

³⁵¹ FARMBAUER 2019 (letzter Zugriff 10.10.2019).

³⁵² DENKER 2017, 20-30.

³⁵³ GRUSS 2019 (letzter Zugriff 11.10.2019).

Das Objekt wird durch diese Art der Dokumentation original getreu reproduzierbar und zwar ja nach Auflösungsgrad sogar bis in den Mikrometerbereich.

Natürlich kann die Kopie das Original nicht ersetzen und es ist wichtig es zu bewahren und zu erhalten. Die 3D-Kopie ist nur ein zusätzliches Werkzeug dafür. Es handelt sich um ein exaktes Abbild des Stücks.

Zur Speicherung sollte das produzierte 3D-Modell in möglichst vielen Dateiformaten und zusätzlich online gesichert werden, um auch in Zukunft eine Lesbarkeit der Daten zu garantieren.

Durch die Onlinesicherung, kann man die Modelle mit geringem Aufwand überall auf der Welt nutzbar und auch analysierbar machen.

Das hat einen enormen Mehrwert für die wissenschaftliche Forschung und Diskussion. Auch für Sammlungen von Universitäten, Museen und Bibliotheken bringt das enorme Vorteile.

Diese digitalen 3D-Sammlungen werden teilweise schon realisiert, die Möglichkeiten und Potenziale werden zurzeit aber noch nicht voll ausgeschöpft.

Als Beispiel werden Funde des Gräberfelds von Hallstatt angeführt: Der Großteil der Sammlung befindet sich im NHM Wien, zusätzlich noch im Museum Hallstatt und im Schlossmuseum Linz. Das geborgene Fundmaterial der Grabungen der Herzogin von Mecklenburg befindet sich allerdings im *Peabody Museum of Archaeology* der Harvard University.

Es stellt einen enormen zeitlichen und finanziellen Aufwand dar, wenn ein Wissenschaftler aus z.B. Europa dieses Material bearbeitet.

Wenn die Sammlung vollständig in 3D-Kopien vorliegt, können die Objekte online zur Verfügung gestellt und ohne zusätzliche Kosten analysiert werden.

Die Möglichkeiten der nachträglichen Analysen an 3D-Objekten sind enorm. So kann man bis in den Mikrometerbereich messen, diverse Objektanalysen und Vergleiche durchführen (z.B. Ähnlichkeiten in der Machart, Materialanalysen, Differenzanalysen) und auch bestehende Chronologien und Einteilungen teilweise automatisiert verfeinern.

Das Objekt kann auch als Replik gedruckt werden. Mittlerweile ist der 3D-Druck auch kommerziell angekommen und wird von immer stärker genutzt. Mit Geräten in höheren Preisklassen können auch diverse Materialien wie Keramik, Glas, Metall oder Holz gedruckt werden.

Auch durch Verfahren wie CNC-Fräsen sind Objekte reproduzierbar. Man ist wieder geografisch ungebunden und die Objekte können überall gedruckt werden. Das ermöglicht das Fühlen und die bessere Wahrnehmung des Objekts. Natürlich können so Repliken auch ausgestellt werden.

Die Hologrammtechnik und auch AR- und MR-Technologien werden in Zukunft die weiteren Nutzungszwecke und Ideen, um ein vielfaches erweitern.

Am Ende muss allerdings festgehalten werden, dass es nicht immer einfach und möglich ist eine 3D-Replik eines Objekts herzustellen, z.B. bei durchscheinenden Materialien wie Glas.



Abbildung 62: Auswahl Methoden und Ergebnisse der 3D-Fundmodelle. (Quelle: Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien)

4.10 Fallstudie 09: Dammwiese, 3D-Rekonstruktion und Virtual Reality

Ausgangslage

Allgemeines zur Konstruktion spätlatènezeitlicher Oberflächenbauten

Ein Großteil der Siedlungsbefunde besteht aus eingetieften oder Pfostenbauten. Da auf der Dammwiese aufgrund der hohen Feuchtigkeit von eingetieften Gebäuden wie Kellern oder Grubenhäusern abgesehen werden kann werden in diesem Abschnitt nur Oberflächenbauten analysiert.

Die einzig eingetieften Strukturen der Dammwiese sind Rinnwerke und möglicherweise Becken oder Entnahmegruben.

Bei den Hausgrundrissen des Plans von 1887-1888 handelt es sich um sehr große Schwellbalkenbauten mit mehr als 30 Quadratmeter Innenfläche. Die Schwellbalken der großen Gebäude haben eine Seitenlänge von ca. 6 m. Die eingefassten Fundamente der kleineren Bauten aus Flechtwerk sind nicht größer als 3 - 4 m.

Allgemein bestehen Wandkonstruktionen der Laténezeit aus Flechtwerk und Lehm, Brettern und Balken sowie einer Mischform die ähnlich einem Fachwerkbau ist.³⁵⁴ Der Bauweise in Form von Blockbauten ist in Siedlungen von Ostösterreich sehr selten. Auf der Dammwiese und am Dürrnberg ist diese Art der Konstruktion aber eindeutig nachgewiesen.

³⁵⁴ KARL 1996, 81-82.

Bei den eisenzeitlichen Dachkonstruktionen sind bei quadratischen Grundrissen pyramidenförmige Dächer und bei größeren, rechteckigen Grundrissen Pultdächer, Satteldächer und Walmdächer vorhanden.

Die verwendeten Deckmaterialien sind je nach Region und umgebender Ressource unterschiedlich. Auf der Dammwiese sind große, rechteckige Holzschindeln nachgewiesen.

Einbauten wie Türen befinden sich oft an den Längsseiten der Gebäude. Fenster sind selten nachgewiesen, können aber als gesichert angenommen werden.³⁵⁵

Zur Inneneinrichtung ist wenig bekannt. Zu diesem Bereich können nur Aussagen über einzelne Raumauswertungen inklusive Fundkartierungen, Verfärbungen oder durch Darstellungen auf Situlen getroffen werden.

Allgemein kann man bei obertägigen Bauten eine Einteilung in Speicherbauten, Wohnhäusern, Ställen und Werkstätten vornehmen.³⁵⁶

Schwellbalkenbauten und Drainagierungen

Der Schutz von Holzkonstruktionen ist bis heute ein wesentlicher Faktor beim Bau mit diesem Material. Direkt auf den Boden aufliegende Schwellbalken sind einer starken Feuchtigkeit und dem Sauerstoff aus der Luft ausgesetzt, das führt zu einem viel schnelleren Fäulnisprozess als z.B. bei Pfostenbauten.

Aus diesem Grund werden die Schwellbalken auf mit Gräbchen verfüllten Steinen gelegt oder direkt auf eine aufgehende Steinplattform gebettet.³⁵⁷ Zusätzlich dienten noch mit Holz, Flechtwerk/Lehm oder einfach gegrabene Kanäle und Rinnwerke der Entwässerung.

„Die Konstruktionen bestanden aus gestemmtten Löchern in die Zapfen der aufgehenden Konstruktionen integriert wurden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Schwellbalken oder Schwellriegel im archäologischen Befund vermutlich in vielen Fällen nicht mehr nachweisbar sind, so dass die Befundlage nicht selten das Bild reiner Pfostenbauten zeichnet, obwohl viele Indizien dafür sprechen, dass es sich ursprünglich um Schwellriegelbauten gehandelt haben muss. Ein Hinweis hierfür ist die sehr geringe Eintiefung der Pfosten, die keinerlei Stabilität erzeugt, sondern lediglich aus Gründen des konstruktiven Holzschutzes gewählt wurde.“³⁵⁸

Direkte Vergleiche der Siedlungsstrukturen auf der Dammwiese können z.B. auch mit den weiter entfernten, erhaltenen eisenzeitlichen Holzbauten von Donja Dolina, einem Dorf im heutigen Bosnien und Herzegowina an der Grenze zu Kroatien gemacht werden.

³⁵⁵ KARL 1996, 82-83.

³⁵⁶ KARL 1996, 83.

³⁵⁷ ELBERT 2018a, 336.

³⁵⁸ ELBERT 2018a, 337.

Auf einer frühen Darstellung sind Profile, Blockbauten und Bohlenwege sichtbar. In Zavist sind rechteckige eisenzeitliche Steinsockel dokumentiert.³⁵⁹ Auch die Befunde von Biskupin sind für Vergleiche mit den Konstruktionen der Dammwiese geeignet.³⁶⁰

Typische Holzverbindungen der Eisenzeit:

- 1) Längsverbindungen, für z.B. das Verlängern von Schwellbalken. (Gerades Blatt, schräges Blatt, Zapfenstoß, einfaches Zapfenblatt)
- 2) Eckverbindungen, z.B. zum Abschließen von Rahmen. („Einfaches Eckblatt, schräges Eckblatt, Schereckblatt, gerades Hakenckblatt“)
- 3) Waagerechte Querverbindungen, z.B. zur Verbindung von Innenschwellen zu Saumschwellen, an Kreuzungen und als Riegel („einfacher Zapfen, Eck- oder Winkelzapfen, Zapfenschloss“)
4. Zapfenverbindungen z.B. für die Verbindung von Ständer auf Schwelle, Sparrenbefestigungen etc. („Zapfenschloss eines Schwellenstoßes“)³⁶¹

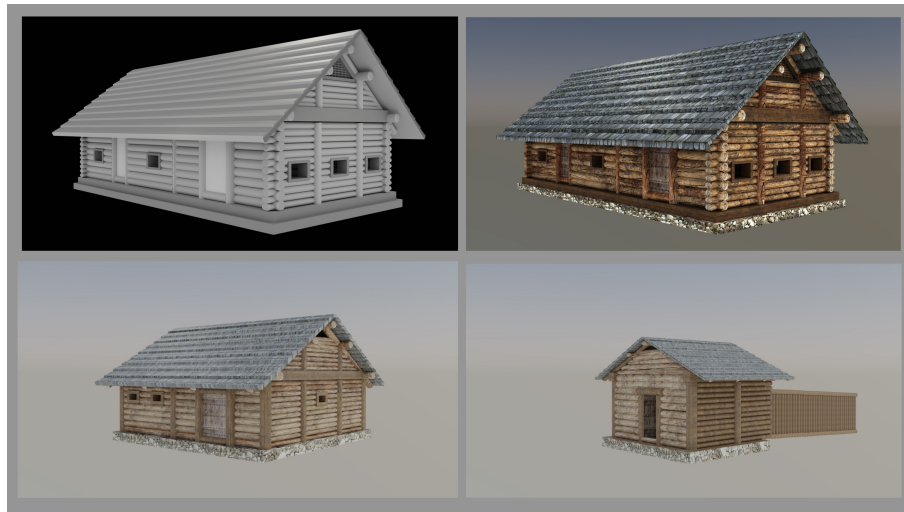


Abbildung 63: Auswahl der rekonstruierten Gebäude und des Stollens. (Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Die Häuserrekonstruktionen wurden auf Basis der Pläne von W. Lobisser erstellt.)

³⁵⁹ ELBERT 2018b, Abb. 2.2_3 und 4, 477.

³⁶⁰ ELBERT 2018b, Abb. 3.3_20, 523.

³⁶¹ ELBERT 2018a, 313-314.

Rekonstruktion Dammwiese

Die Siedlungsstrukturen auf der Dammwiese wurden zwar großflächig ausgegraben und vor Ort hervorragend dokumentiert, aber die vollständige wissenschaftlichen Auswertung der Befunde und Funde wurde nie vollständig vorgelegt.

Im Zuge dieser Arbeit sollte eine Grundlage bzw. ein Vorschlag der Befundinterpretation entstehen.

Aufgrund der nahezu perfekten Erhaltungsbedingungen, lässt sich ein sehr realitätsnahes Bild der ausgewählten Ausgrabungssituationen auf der Dammwiese von 1887-1888 schaffen.

Die Auswertungen der Pläne, Beschreibungen und die angefertigte 3D-Rekonstruktion der Grabung, ermöglichen eine sehr genaue 3D-Visualisierung der freigelegten Bereiche.

Im Vorfeld konnten mehrere Häusergrundrisse verschiedener Typen und das Stollenhaus mit Mundloch lokalisiert werden. Diese Gebäude sollten mit ähnlichen Fundstellen verglichen werden um eine möglichst genaue 3D-Rekonstruktion der Siedlungssituation auf der Dammwiese zu schaffen.

Auf Basis dieser Daten soll ein 360 Grad VR-Durchgang in der Siedlung und zum Stollenbereich ermöglicht werden.

Durchführung

In diesem Abschnitt gehe ich nur auf die Rekonstruktion einer Gewerbesiedlung ein. Auf die Interpretation oder Modellierung einer Salinenanlage auf der Dammwiese gehe ich aufgrund der von einem eher spekulativen Ergebnisses nicht ein.

Nach der Interpretation und weiteren Beschäftigung mit den Daten aus der Literatur wurden alle Quellen in ein Dreistufensystem eingeordnet.³⁶²

Das heißt, es erfolgte eine Zuteilung in primäre Quellen wie z. B. die vorhandenen Fotos, die Grabungspläne und die erstellte 3D-Umzeichnung.

Die Sekundärquellen - also die Fehlstellen zwischen den ergrabenen Bereichen und in Folge die dritte Stufe mit den spekulativen Rekonstruktionen.

Hier wurden vor allem Vergleiche aus dem Ramsautal herangezogen und logische Verläufe wie jene von Bohlenwegen und Kanälen weiter geführt.

Am Beginn der Erstellung der Rekonstruktion wurden die Gebäudegrundrisse näher betrachtet. Ähnlich den Grundrissen aus dem Ramsautal konnten drei Typen unterschieden werden.

Diese Definitionen wurden für die Befunde der Dammwiese nach den detaillierten, großen Überblicksplänen der gesamten Grabungen von 1887-1890, vom Detailplan von 1887-1888 und den Fotos der aufgebauten Strukturen von 1936-1937 vorgenommen.

Wie aus der Interpretation ersichtlich, handelte es sich bei den großen Gebäuden um Blockbauten auf Kalksteininseln im Schwellbalkenbau.

Die Häuser hatten im Inneren Bretter- oder Stampflehböden. Die Dächer waren aus großen, flachen Holzschindeln gefertigt.

³⁶² Siehe auch: FRANZMEIER, HAGENAUER 2019, 30-31.

Die kleineren Gebäudegrundrisse waren ähnlich aufgebaut. Wobei nach den Beschreibungen der Befunde, als dritter Typ auch von einzelnen Gebäuden in Lehm-bauweise ausgegangen werden kann. Darauf weisen Erwähnungen von Hüttenlehm-resten im Flechtwerk hin.

Die Entwürfe und Pläne des Experimentalarchäologen W. Lobisser, der den Auf-bau und die Konstruktion der Gebäude aus dem Ramsautal bearbeitete, sind den Befunden auf der Dammwiese sehr ähnlich und wurden deshalb als Grundlage für die 3D-Rekonstruktionen verwendet.

Die Gebäude wurden nur leicht adaptiert und abgewandelt. (Siehe Abb. 63).

Die einzelnen Strukturen wurden direkt auf der 3D-Umzeichnung der Grabungs-ergebnisse ausgerichtet und positioniert.

In einem Bereich eines gezeichneten Hauses ist möglicherweise eine komplette Sei-tenwand mit verstürzter Tür sichtbar. Alle aus den Plänen gewonnenen Informa-tionen wurden genutzt um die Gebäude richtig auszurichten.

Diese Vorgehensweise wurde für alle oberflächlich sichtbaren Strukturen wieder-holt, wie z.B. bei den Bohlenwegen zwischen den Häusern und den kleineren Ge-bäuden.

Ein gut rekonstruierbarer Befund war das Mundlochhaus mit dem zugehörigen Stollen.

Die Grundlage der Modellierung bildeten erhaltene Hölzer, diverse Fotos aus ver-schiedenen Ansichten und der sehr gute Erhaltungszustand von über 1 m Höhe. Die Position konnte durch die vorher durchgeführten Recherchen ziemlich genau bestimmt werden.

Mithilfe dieser Informationen wurde der Stollen in Stempelbauweise und das zu-gehörige Eingangsgebäude in Blockbauweise rekonstruiert und ausgerichtet.

Die restlichen Bereiche der Siedlung Dammwiese wurden anhand des ungenaueren Überblickplans nicht rekonstruiert.

In der VR-Version kann der Forscher oder der Besucher den Bereich der Grabung von 1887-1888 einblenden und erkunden (Siehe Abb. 64).

Mit einem Klick auf Interpretation können zum Vergleich die rekonstruierten Ge-bäude und Gassen der Bergarbeitersiedlung erkundet werden.

Die Umsetzung als VR-Umgebung erfolgte unter Anwendung diverser Methoden, einerseits als 360-Grad Animation mit Überblendung der Szene, andererseits als interaktiver Durchgang, wo der Nutzer selbst Bewegungen ausführt.

Ergebnis

Das Ergebnis sind mehrere 3D-Modelle die als Grundlage zur weiteren Verwendung und Bearbeitung in Bezug auf die Dammwiese dienen sollen.

Die 3D-Modelle der Siedlung und der Grabungen eignen sich für die Nutzung in z.B. Animationen oder interaktiven Anwendungen, wie Spielen, AR-, MR- und VR-Programmen.

In die erstellten Visualisierungen können alle 3D-Objekte integriert werden, die in dieser Arbeit mittels Laserscan oder IBM-Methoden aufgenommen wurden.

Der VR-Rundgang soll nicht nur einen spielerischen Zugang der Vermittlung er-

möglichen, sondern auch als hilfreiches Interpretationswerkzeug für die wissenschaftliche Forschung dienen.

Die VR-Szene soll eine Grundlage für zukünftige Erweiterungen und Ideen bieten. Die Objekte können als Baukasten verwendet werden, indem jeder Nutzer selbst einzelne Gebäudetypen oder Bauelemente der Siedlung, direkt in der VR-Umgebung ausrichten und bewegen kann.

Mit solchen oder ähnlichen Anwendungen können neue Erkenntnisse schnell und einfach in das bestehende Modell eingebaut bzw. kommuniziert werden.

Das Potenzial und die Entwicklungen von VR-Hardware und Entwicklungssoftware ist enorm, nicht nur im Bereich der Wissenschaft und Vermittlung. Bei der Erstellung aller 3D-Rekonstruktionen, Visualisierungen und Animationen wurde versucht streng nach den Vorgaben der Londoner Charta vorzugehen.³⁶³



Abbildung 64: Ausschnitte des auf den Plangrundlagen erstellten Siedlungsbereichs und die VR-Umgebung. (Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Hintergrund: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.)

³⁶³ DENARD ET AL. 2009, 5-12.

5 Schluss

5.1 Zusammenfassung

5.1.1 Zusammenfassung und Fazit

Mit der vorliegenden Arbeit wurde versucht, Archäologen und Wissenschaftern aus Nachbardisziplinen einen Überblick zu den aktuell, gängigen Formen der 3D-Dokumentation und -Rekonstruktion zu geben. Die präsentierten Inhalte sollen auch eine praktische Basis von Grundwissen bei der Anwendung dieser Methoden schaffen.

Ein weiterer Punkt sind die Formen der Weiterverarbeitung der produzierten Daten, mit dem Ziel der Vermittlung in Ausstellungen, Museen und Lehre. In diesem Teilbereich wird dem Leser zusätzlich ein Überblick von multimedialen Konzepten, über sinnvolle Webintegration, bis hin zu AR-/VR-/MR-Anwendungen gegeben. Gemeinsam mit dem NHM Wien wurden diese Ideen zu einem Konzept für eine Masterarbeit umgesetzt. Die UNESCO Weltkulturerberegion Hallstatt eignete sich durch die über Jahrtausende andauernde Bergbautätigkeit perfekt für die Entwicklung mehrerer Fallstudien, in Bereichen der modernen 3D-Datenerstellung.³⁶⁴

Aufgrund des umfassenden archäologischen Erbes Hallstatts, mussten vorab genaue Teilbereiche für die Untersuchungen definiert werden, um einen umsetzbaren Arbeitsprozess zu entwickeln.

Es wurden zwei Bereiche ausgewählt, die sich perfekt für die geplanten Versuchsreihen eigneten:

Der bronzezeitliche Bergbau im Christian-von-Tusch-Werk und die spätlatènezeitliche Gewerbesiedlung auf der Dammwiese.

Der erste Schritt war ein Einblick in den Forschungsstand beider Fundstellen. Bei der Dammwiese wurde dieser etwas ausführlicher ausgearbeitet, weil im Vorfeld wenig bekannt war und hier das Endresultat eine 3D-Rekonstruktion bildete. Deshalb wurden gemeinsam mit dem Museum Hallstatt und dem NHM Wien betreffende Pläne, Fotos und Literaturauszüge gesammelt und ausgewertet. So sollte die wissenschaftliche Basis für eine Interpretation der Befunde und eine 3D-Visualisierung geschaffen werden.

Bei der Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk wurden diverse Arten moderner 3D-Dokumentation und -Vermessung getestet und deren sinnvoller Einsatz überprüft.

³⁶⁴ UNESCO 2019, Hallstatt (letzter Zugriff 10.10.2019).

In diesem Teilbereich wurden technische Fallstudien entwickelt, mit dem Ziel einer vollständigen Hohlraumvermessung und dem anschließenden Export von Raster- und Vektordaten. Durch die Aufnahme aller Abbaustollen sollte ein zuvor nie da gewesener Überblick zur Gesamtsituation der Grabung unter Tage geschaffen werden.

Vor der Beschreibung der einzelnen Fallstudien und deren Ergebnissen, wird ein umfassender Überblick zur Methodik gegeben, so z.B. die Anwendung von aktiven und passiven Messverfahren.

Bei den aktiven Methoden werden primär verschiedene Formen und Arten im Bereich Laserscanning behandelt.

Bei den passiven Methoden ist der Fokus klar auf die Anwendung bildgebender 3D-Aufnahmeverfahren gerichtet.

Der letzte Teil der Methodik beschäftigt sich eher mit den kreativen Bereichen, wie der wissenschaftlichen 3D-Rekonstruktion und den modernen Vermittlungskonzepten in den Bereichen Computerspiele, Animation und AR-/VR-/MR-Anwendungen.

Der Hauptteil, der die eigentlichen Ergebnisse präsentiert, besteht aus neun ausgewerteten Fallstudien, welche alle beschriebenen Bereiche der Methodik mit durchgeführten Anwendungsbeispielen stützt.

Beim Christian-von-Tusch-Werk wird z.B. die Gesamtaufnahme aller Abbaustollen mittels 16.000 Fotos und in Folge die sinnvolle, wissenschaftliche Nutzung dieser Daten ausgewertet. Auch Animationen, Visualisierungen und eine AR-Applikation werden in Bezug auf die Fundstelle unter Tage präsentiert.

Zur Erstellung großflächiger 3D-Geländemodelle wurden im Hochtal von Hallstatt mittels UAV-Befliegungen große Mengen an Rohdaten, Orthofotos und DEMs produziert. Diese wurden anfangs intensiv im Bereich der Dammwiese durchgeführt, um eine Grundlage für die geplante Interpretation zu schaffen. Zusätzlich produzierte man mit den UAVs in allen Bereichen des Hochtals, unzählige Videos und Landschaftsaufnahmen.

Zur Dammwiese wurden alle vorliegenden Daten in ein Geoinformationssystem integriert, referenziert und ausgewertet.

Aus den vorbildlich dokumentierten Plangrundlagen von 1887-1890 konnte aus einem Teilbereich eine 3D-Umzeichnung und realistische Darstellung der Situation von damals erstellt werden. Auf Basis dieser 3D-Pläne konnte eine Visualisierung der Siedlung mit der Möglichkeit eines VR-Rundgangs entstehen.

Zusätzlich wurden 3D-Repliken von ausgewählten Funden, der Dammwiese, im Maßstab 1:1 erstellt. Die Ergebnisse wurden mit anderen Methoden verglichen und folgende Analyseverfahren beschrieben.

Die 3D-Dokumentation gehört mittlerweile in der archäologischen Feldforschung zum Standard und wird aufgrund der rasanten technischen Weiterentwicklung immer einfacher und schneller umsetzbar. Vor allem wurden auch die anfallenden Kosten für solche Vorhaben stark reduziert. Auch Vermittlungskonzepte mit Hilfe von 3D-Daten haben in Hallstatt einen hohen Stellenwert.

Als Archäologen sind wir verpflichtet, das Kulturgut, auf das jeder Mensch ein

Anrecht hat, so gut wie möglich zu dokumentieren und für die Nachwelt zu erhalten. Dafür ist die 3D-Dokumentation momentan die geeignetste und anschaulichste Methode.

Diskussion

Worin besteht also der Nutzen der vorliegenden Fallstudien zu modernen Dokumentationsmethoden und wie können diese weiter verwertet werden?

In der Archäologie und in Bereichen der Montanforschung, wie z.B. der Dokumentation unter Tage, bietet die 3D-Aufnahme unzählige Vorteile. Das Produkt sind große Mengen an 3D-Modellen, die in vielen Bereichen Anwendung finden. Vor allem durch Animation, VR- und AR-Applikationen und auch mittels Hologrammtechniken wurden in den letzten Jahren Werkzeuge, mit einem enormen Potenzial in der Anwendung, wissenschaftlichen Interpretation und weiteren Vermittlung geschaffen.

Bei Feldkampagnen ist die 3D-Dokumentation von Schichtverläufen wesentlich. Unter anderem durch die Möglichkeit des Exports diverser Metadaten und eine erweiterte virtuelle Nachbearbeitung. Laserscanner haben zwar noch immer einen sehr hohen Anschaffungspreis, es besteht aber auch die Möglichkeit sie zu mieten. Ein Mehrwert für Grabungen sind Laserscanner zweifellos. Der Vorteil liegt klar in der Geschwindigkeit der Rohdatenaufnahme. So sind es bis zur fertigen Punktwolke meist nur ein paar Klicks. Zu erwähnen ist aber, dass für die Nachbearbeitung noch ein Zeitaufwand einzurechnen ist. Vor allem bei großflächigen Ausgrabungsprojekten ist der TLS perfekt geeignet, aber auch für die Bauaufnahme. Für Forschungsgrabungen mit einem fixen Budget, können Laserscanner gut in die Finanzierung eingeplant werden.

Die Anwendung von IBM-Methoden auf archäologischen Grabungen ist mit dem dort vorhandenen technischen Geräten meist schon umsetzbar. Deshalb handelt es sich um eine sehr weit verbreitete und kostengünstige Form der 3D Dokumentation. Nur bei den Rechnern zur Nachbearbeitung bzw. Auswertung der Daten sollte nicht gespart werden. Der Vorteil ist, dass diese Methode mit den richtigen technischen Hilfsmitteln sehr schnell durchgeführt werden kann. Das Verfahren ist ziemlich uneingeschränkt, das heißt überall wo man eine Kamera hinbringen kann, ist diese Methode anwendbar (z.B. unter Wasser, in Bergwerken, Astronomie etc.). Die Algorithmen wurden in den letzten Jahren immer weiter verfeinert und man erhält nach einiger Einarbeitungszeit die gewünschten Ergebnisse. Bei großflächigen Aufnahmen ist die Verwendung von UAVs zu empfehlen, bei kleineren eignen sich Teleskopstangen.

Einer der wesentlichen Vorteile ist, dass man aus den 3D-Daten, egal ob aus dem Scanner oder mittels IBM, eine 1:1 Kopie der dokumentierten Fläche erhält. Das heißt, man kann aus diesen Daten alle auf archäologischer Feldarbeit üblichen Ergebnisse reproduzieren. Dies geschieht durch den Export von Orthomosaiken von Profilen und Flächen, Umzeichnungen direkt am 3D-Modell mit x,y,z-Koordinaten, hochauflösende Geländemodelle, etc.. Das ist vor allem im Bereich der Rettungs-

grabungen praktisch, denn wenn ein IBM Dokumentationsablauf gut umgesetzt wird, kann viel schneller gearbeitet werden.

Welche Möglichkeiten und Vorteile bieten derzeitige Methoden für die wissenschaftliche Anwendung und Interpretation und worin bestehen ihre Grenzen?

Im Bereich der Bergbauforschung ist die 3D-Dokumentation hervorragend geeignet. Gerade im Untertagebau handelt es sich um dreidimensionale Hohlräume, die dokumentiert werden. Wenn es rein um die Aufnahme zum Zwecke der Hohlraumvermessung geht, sind Laserscanner oder ToF- bzw. SLAM-Kameras sehr gut geeignet. Wenn zusätzlich eine hoch aufgelöste Textur, oder auch der Export von Fotomosaiken gefragt ist, ist die Anwendung von IBM zu empfehlen. Dabei ist in Bergwerken vor Beginn der eigentlichen Dokumentation auf eine gute Planung der Beleuchtung zu achten. Aufgrund der Möglichkeiten in der Nachbearbeitung (z.B. künstliche Lichtquellen setzen) wird ein vor Ort unmöglicher Blick auf die Strukturen eröffnet und dadurch wird eine Grundlage für eine bessere Interpretationsmöglichkeit geschaffen.

In Zeiten von Krieg und in Krisengebieten, wie in den letzten Jahren in Syrien und dem Irak wird Kulturgut teilweise bewusst zerstört oder fällt dem illegalen Kunsthandel zum Opfer. Viele der Baudenkmäler, Statuen und Funde sind verloren. In einem Großprojekt wurde versucht alle frei zugänglichen Fotos der zerstörten Kulturgüter zu sammeln und 3D-Kopien davon zu erstellen. Diese können die Originale natürlich nicht ersetzen, aber die 3D-Modelle machen sie reproduzierbar und zumindest wieder visuell erlebbar. Zusätzlich können auch die kleinsten fragmentierten Überreste mit den 3D-Abbildern in hoher Auflösung über Computeralgorithmen und automatisierten Vergleichen wieder restauriert werden. In Syrien und dem Irak wurden auch präventiv einige 3D-Scans der Gebäude vor dem Krieg angefertigt.³⁶⁵

Auch im Bergwerk von Hallstatt ist dieser Aspekt der 3D-Dokumentation wesentlich. Es besteht zurzeit zwar keine Gefahr der Zerstörung durch Krieg, aber wie auch schon in der Prähistorie sind im Hochtal von Hallstatt jederzeit erneute Massenbewegungen möglich. Zusätzlich werden durch den Bergdruck aufgelassene Forschungsstollen und Abbaubereiche der Saline innerhalb weniger Jahre wieder vollständig verschlossen und bleiben für die Nachwelt schwer erreichbar, so z. B. auch das latènezeitliche Bergbaurevier der Westgruppe. Durch die vollständige 3D-Erfassung der Fundstellen ist eine im Vergleich kostengünstige und stetige Sicherung für die Nachwelt gegeben. Mittels Methoden wie VR kann auch ein gefahrloser Durchgang durch längst nicht mehr zugängliche Bereiche erfolgen. Aufgrund der exakten Referenzierung der Modelle erhält man 1:1 Kopien die auch in gleichen Maßstab druckbar sind. In französischen Paläolithhöhlen hat man diese Technik schon angewandt und im Zuge von Ausstellungen ganze Bereiche der Höhle gedruckt. Durch die Gesamtdokumentation der Forschungsstollen im Christian-von-Tusch-Werk besteht diese Möglichkeit auch.

Die Grenzen der vorgestellten Methoden bestehen zum Teil aus ökonomischen

³⁶⁵ DENKER 2017, 20-30.

Aspekten, aber auch aus dem technischen Know-How der Anwender. Je nach Methode ist die Anwendung Zeit- oder Kostenintensiv.

Befand sich auf der spätlatènezeitlichen Fundstelle Dammwiese eine Saline?

Wie schon in der Interpretation erwähnt, lassen die sehr ähnlichen Befunde der Fundstelle Bad Nauheim und Dammwiese diese Interpretation zu. Die Indizien die dafür sprechen überwiegen jenen die das Gegenteil beweisen.

Dennoch bin ich bei dieser These vorsichtig und überlasse sie der zukünftigen wissenschaftlichen Erforschung der Dammwiese. Anhand der Pläne sind diese Vergleiche nur bedingt anzustellen. Die Beschreibungen der Altgrabungen gehen von Anfang an davon aus, dass es sich bei den Kanälen um ein Soleleitsystem handelt. Friedrich Morton bestätigt diese Annahme bis in die 1950er Jahre. Später geht er nur von einem Abschöpfen der Sole direkt an der Quelle und dem anschließenden Verdampfen in den großen Keramikgefäßen aus.³⁶⁶

In Bad Nauheim sind beide Verfahren nachgewiesen, sowohl das Verdampfen von Sole in Keramikgefäßen und das anschließende zerstören, was zu einer enormen Anzahl an Scherbenbruch führt. Das beschreibt auch Morton in den Ergebnissen der Grabung von 1936-1937. Interessant ist auch der freigelegte Bottich in den mehrere Kanäle münden.

In Bad Nauheim wird die Sole zusätzlich durch Kanäle in große Becken aus Flechtwerk mit Lehmestrich oder aus Stein mit eingetieften Holzkonstruktionen geleitet und von Luft und Sonne verdunstet. Ob es sich bei den großen Mengen an Kanälen und Rinnen auf der Dammwiese um ähnliche Konstruktionen oder um reine Drainagierungsbauten handelt kann aufgrund der mir bekannten Quellen nur schwer differenziert werden. Die Annahme von F. Morton, dass auf der Dammwiese zusätzlich zum Untertagebergbau Salz in großen Gefäßen verdampft wurde kann allerdings angenommen werden. Da die bis heute an die Oberfläche tretende Solequelle sicher nicht ungenutzt blieb.³⁶⁷

Was bringt der Einsatz von UAVs der archäologischen Forschung?

UAVs haben die Dokumentation archäologischer Ausgrabungen enorm erleichtert. Vor allem bei großflächigen Projekten, wie z.B. in der Trassenarchäologie und Rettungsgrabungen ist der Einsatz sehr sinnvoll. Je nach Gerät kann eine eigene Kamera integriert werden oder man verwendet die technisch immer besser umgesetzten Fertiglösungen mit eingebauten Kameras. Für die Anwendung von IBM-Methoden ist diese Lösung völlig ausreichend. Durch geringe Flughöhe und eine größere Anzahl an Einzelaufnahmen kann die Auflösung beliebig gesteigert werden. Auch für die Produktion von Orthofotos ist der Einsatz von einem UAV empfehlenswert. Durch die Schwenkeinrichtung können echte Senkrechtaufnahmen angefertigt werden, dies führt zu weniger Verzerrungen und Fehlern im Endergebnis. Beim Dokumentieren der Fläche mit einer Leiter ist das kaum möglich, oder mit einem großen Sicherheitsrisiko verbunden. Die immer besseren Weiterentwicklungen der letzten

³⁶⁶ MORTON 1956, 86-107.

³⁶⁷ HANSEN 2013, 91-94.

Jahre, wie z.B. automatischer Flugmodus, Fotointervalle, Aufnahme von RAW-Bildern, schwenkbare 3-Achsen Gimbals, längere Flugzeiten bis zu 30 min, stabiles ruhiges Flugverhalten und Live-Bild Übertragungen etc. haben das Einsatzgebiet von UAVs noch erweitert. So eignen sie sich auch aufgrund des geringen Gewichts perfekt zur Begleitung von Oberflächenbegehungen. Mittlerweile sind Geräte mit Wärmebildkameras oder integrierten Laserscannern auf dem Markt, so sind UAVs bald auch für Fragestellungen im Bereich Landschaftsarchäologie und großflächige Geländeprospektion geeignet.

Inwiefern ermöglichen die vorgelegten Ergebnisse neue Grundlagen und zusätzlichen Mehrwert für Vermittlung und Öffentlichkeitsarbeit?

Aus den 3D-Daten können, wie erwähnt, unzählige nachfolgende Anwendungen entstehen. Animationen eignen sich hervorragend, um Aussagen von Wissenschaftern klar an ein breites Laienpublikum zu vermitteln. Sie sind ein beliebtes Werkzeug der Kommunikation. Im Museum werden Animationen bzw. Filme oft genutzt, um z.B. Objekten neues Leben einzuhauchen oder den Entstehungsweg (z.B. bei Metallen oder Keramiken) besser darzustellen.

Ein Teil der Rohdatenaufnahme 2017 wurde im Rahmen des VirtualArch Projekts umgesetzt. Es hat das Ziel, mittels modernen Methoden wie AR-, VR- und mobilen Applikationen der Öffentlichkeit die Geschichte der Landschaft näher zu bringen.³⁶⁸ Somit werden Ergebnisse der vorgelegten Fallstudien, in diesem Fall Befliegungen eines Aerial Surveys, direkt vermittelt. Auch zukünftige Projekte im Bereich der öffentlichen Vermittlung durch, z.B. Crowd-Sourcing sind denkbar: Der Ort Hallstatt ist einer der meist besuchten Orte Mitteleuropas, dadurch gibt es tausende Fotografien aus unterschiedlichsten Perspektiven. Ähnlich dem Bundler Projekt am Kolosseum, wäre ein Versuch der Produktion eines 3D-Modells durch Anwendung von IBM-Methoden interessant.³⁶⁹

Auch die Bereiche Virtual- und Augmented Reality haben in der Kulturvermittlung der Archäologie großes Zukunftspotenzial.³⁷⁰ Der Besucher kann immersiv und mit allen Sinnen Inhalte erleben. Davor bedarf es einer guten Planung, vor allem das Storytelling ist entscheidend für die Rezeption, da sonst Inhalte entstehen, die zwar technisch gut umgesetzt sind, aber für den Nutzer keinen Sinn ergeben. AR ist besonders bei Außentouren und Objektpräsentationen gut einsetzbar, da das Publikum die Inhalte mit dem eigenen Mobilgerät erleben kann. Die Entwicklungen im AR-Bereich stehen zwar noch am Anfang, aber das Potenzial für zukünftige Anwendungen ist enorm.

Welche zukünftigen Entwicklungen können erwartet werden?

Allgemein werden die vorgestellten Methoden in Zukunft zu immer schnelleren und besseren Ergebnissen führen. Bei Einbindung aller Forschungsergebnisse, kann VR- oder AR nicht nur als Unterstützung für die Wissenschaft dienen, wie z.B. in der

³⁶⁸ INTERREG VIRTUALARCH HALLSTATT 2017 (letzter Zugriff 28.09.2019).

³⁶⁹ AGARWAL ET AL. 2009, 1-8.

³⁷⁰ RESCHREITER 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019)..

Entwicklung eines VR-GIS zur archäologischen Interpretation und Diskussion, es kann auch für z.B. virtuelle Zeitreisen und die spielerische Vermittlung dienen. Das lockt vor allem junges Publikum wieder ins Museum.

In der Hallstattforschung wird die 3D-Dokumentation basierend auf der beschriebenen Vorgehensweise derzeit schon als fixer Bestandteil eingesetzt. Auch ein Virtual Reality-Erlebnis wird inzwischen zur Vermittlung der aktuellen Forschungsergebnisse für ein breites Publikum angeboten.³⁷¹

Da diese Anwendungen sowohl im wissenschaftlichen Bereich, als auch in der Öffentlichkeitsarbeit weiterentwickelt werden, darf man gespannt in die Zukunft blicken.

5.1.2 Summary and Conclusio

The aim of the present work was to give archaeologists and scientists from neighboring disciplines an overview of the current, common forms of 3D documentation and reconstruction. The presented content should also provide a practical base of basic knowledge in the application of these methods.

Another point is the forms of processing of the data produced, with the aim of mediation in exhibitions, museums and teaching. In this subarea, the reader is additionally given an overview of multimedia concepts, meaningful web integration, and AR / VR / MR applications.

Together with the NHM Vienna, these ideas were translated into a concept for a master's thesis. The UNESCO world heritage region of Hallstatt has been perfectly suited for the development of several case studies in areas of modern 3D data creation through millennia of mining activity.³⁷²

Due to Hallstatt's extensive archaeological heritage, it was necessary to define areas of investigation in advance in order to develop a workable work process.

Two areas were selected that were perfectly suited for the planned test series:

The Bronze Age mining in the Christian-of-Tusch-Werk and the late-La Tène commercial settlement on the Dammwiese.

The first step was an insight into the state of research of both sites. At Dammwiese this was elaborated a bit more in detail because little was known in advance and here the final result was a 3D reconstruction. Therefore plans, photos and bibliographical references were collected and evaluated together with the Museum Hallstatt and the NHM Vienna. Thus, the scientific basis for an interpretation of the findings and a 3D visualization should be created.

At the Christian-von-Tusch-Werk reference site, various types of modern 3D documentation and measurement have been tested and their useful use has been checked. In this section, technical case studies were developed with the goal of complete cavity measurement and subsequent export of raster and vector data.

Through the inclusion of all mining tunnels a previously unprecedented overview

³⁷¹ RESCHREITER 2019 (letzter Zugriff 20.09.2019)..

³⁷² UNESCO 2019, Hallstatt (last accessed 10.10.2019).

of the overall situation of the underground excavation should be created.

Before describing the individual case studies and their results, a comprehensive overview of the methodology is given, e.g. the application of active and passive measuring methods.

The active methods primarily deal with different forms and types of laser scanning. For passive methods, the focus is clearly on the use of 3D imaging techniques.

The last part of the methodology deals more with the creative areas, such as scientific 3D reconstruction and the modern mediation concepts in the areas of computer games, animation and AR / VR / MR applications.

The main part, which presents the actual results, consists of nine evaluated case studies, which supports all described areas of the methodology with applied examples of use.

In the Christian-von-Tusch-Werk, e.g. the total uptake of all mining galleries using 16,000 photos and, as a result, the meaningful, scientific use of this data was evaluated. Animations, visualizations and an AR application will also be presented underground in relation to the site of discovery.

To create large-scale 3D terrain models, large amounts of raw data, orthophotos and DEMs were produced in the high valley of Hallstatt using UAV aerial surveys. These were initially carried out intensively in the area of the dam meadow, in order to create a basis for the planned interpretation. In addition, UAVs produced countless videos and landscape shots in all parts of the high valley.

To Dammwiese all available data were integrated into a geographic information system, referenced and evaluated.

From the exemplary documented basis maps of 1887-1890, it was possible to create a 3D drawing and a realistic depiction of the situation from a particular area. On the basis of these 3D plans, a visualization of the settlement with the possibility of a virtual tour could be created.

In addition, 3D replicas of selected finds, the dam meadow, were created on a scale of 1: 1. The results were compared with other methods and described the following analysis methods.

The 3D documentation is now standard in archaeological field research and is due to the rapid technical development easier and faster to implement. Above all, the costs incurred for such projects were greatly reduced. Also switching concepts with the help of 3D data have a high priority in Hallstatt.

As archaeologists, we are obliged to document as well as possible the cultural property to which every human being is entitled and to preserve it for posterity. For this, the 3D documentation is currently the most suitable and descriptive method.

Discussion

So what is the use of these case studies for modern documentation methods and how can they be used further?

In archeology and in areas of mining research, such as Underground documentation, the 3D image offers countless benefits. The product are large amounts of 3D

models that are used in many areas. Especially animation, VR and AR applications as well as hologram techniques have created tools in recent years, with enormous potential in application, scientific interpretation and further mediation.

For field campaigns, 3D documentation of layers is essential. Among other things by the possibility of the export of various metadata and an extended virtual post-processing. Although laser scanners still have a very high purchase price, there is also the possibility to rent them. An added value for excavations laser scanners are undoubtedly. The advantage lies clearly in the speed of raw data acquisition. So it is up to the finished point cloud usually only a few clicks. It should be mentioned, however, that for the post-processing is still a time required. Especially for large-scale excavation projects, the TLS is perfectly suitable, but also for the construction survey. For research excavations with a fixed budget, laser scanners can be well planned for funding.

The application of IBM methods to archaeological excavations is usually already feasible with the technical equipment available there. Therefore, it is a very widespread and inexpensive form of 3D documentation. Only with the computers for post-processing or evaluation of the data should not be saved. The advantage is that this method can be carried out very quickly with the right technical aids. The method is quite unrestricted, which means that wherever you can bring a camera, this method is applicable (for example, under water, in mines, astronomy, etc.). The algorithms have been refined in the last few years and you get the desired results after some training period. For large-area shots, the use of UAVs is recommended, with smaller telescopic poles are suitable.

One of the key benefits is that you get a 1: 1 copy of the documented surface from the 3D data, whether it's from the scanner or IBM. In other words, one can reproduce from these data all the usual results of archaeological field work. This is done by exporting orthomosaics of profiles and surfaces, drawing directly on the 3D model with x, y, z coordinates, high-resolution terrain models, etc. This is especially useful in the field of rescue excavations, because if an IBM documentation process well implemented can be worked much faster.

What are the potential and benefits of current methods for scientific application and interpretation and what are their limitations?

In the field of mining research, the 3D documentation is ideally suited. Especially in underground mining are three-dimensional cavities that are documented. When it comes to recording for the purpose of cavity measurement, laser scanners or ToF or SLAM cameras are very well suited. In addition, if a high-resolution texture, or the export of photo mosaics is required, the use of IBM is recommended. It is important to pay attention to good lighting planning in mines before the actual documentation begins. Due to the possibilities of post-processing (such as using artificial light sources), an impossible-to-see-in-place view of the structures is opened up and thus a basis for a better interpretation possibility is created.

In times of war and in crisis areas, as in recent years in Syria and Iraq, cultural property is partly deliberately destroyed or falls victim to the illegal art trade.

Many of the monuments, statues and finds are lost. In a major project, attempts were made to collect all freely accessible photos of the destroyed cultural assets and to make 3D copies of them. Of course, these can not replace the originals, but the 3D models make them reproducible and at least visually tangible again. In addition, even the smallest fragmented remains can be restored with high resolution 3D images using computer algorithms and automated comparisons. In Syria and Iraq, pre-war 3D scans were also made.³⁷³

Also in the mine of Hallstatt this aspect of the 3D documentation is essential. Although there is currently no danger of destruction by war, but as in prehistory in the high valley of Hallstatt at any time again mass movements are possible. In addition, abandoned by the pressure of the mountain research tunnels and mining areas of the saline completely closed again within a few years and remain difficult for posterity, such. B. also the La Tène mining district of the West group. Due to the complete 3D capture of the sites a comparatively low-cost and steady backup for posterity is given. Using methods such as VR, a safe passage through areas that are no longer accessible can also take place. Due to the exact referencing of the models you get 1: 1 copies that can be printed on the same scale. In French palaeolithic caves, this technique has already been applied and printed in the course of exhibitions whole areas of the cave. Due to the complete documentation of the research tunnels in the Christian-von-Tusch-Werk, this possibility also exists.

The limits of the presented methods consist partly of economic aspects, but also of the technical know-how of the users. Depending on the method, the application is time consuming or costly.

Was there a saline on the Late La Tène site Dammwiese?

As already mentioned in the interpretation, the very similar findings of the site Bad Nauheim and Dammwiese allow this interpretation. The evidence that speaks in favor of those who prove the opposite.

Nevertheless, I am cautious about this thesis and leave it to the future scientific exploration of the dam meadow. Based on the plans, these comparisons are limited. The descriptions of the old excavations assume from the beginning that the canals are a brine system. Friedrich Morton confirms this assumption until the 1950s. Later, he only starts from a skimming off of the brine directly at the source and the subsequent evaporation in the large ceramic vessels.³⁷⁴

In Bad Nauheim, both methods are proven, both the evaporation of brine in ceramic vessels and the subsequent destroy, resulting in an enormous number of broken pieces. This also describes Morton in the results of the excavation of 1936-1937. Also interesting is the uncovered tub in which several channels open.

In Bad Nauheim, the brine is also channelled through canals in large wicker basins with clay screed or stone with recessed wooden structures and vaporized by the air and the sun. Whether the large amounts of canals and gutters on the causeway are similar constructions or pure drainage structures can hardly be differentiated

³⁷³ DENKER 2017, 20-30.

³⁷⁴ MORTON 1956, 86-107.

on the basis of the sources I know. However, the assumption of F. Morton that in the dam meadow in addition to underground mining salt was evaporated in large vessels can be assumed. As the surface of the brine until today certainly did not remain unused.³⁷⁵

What is the use of UAVs in archaeological research?

UAVs have greatly facilitated the documentation of archaeological excavations. Especially in large-scale projects, such in the street archeology and rescue excavations, the use is very helpful. Depending on the device, a separate camera can be integrated or one uses the increasingly technically better finished solutions with built-in cameras. For the application of IBM methods, this solution is quite sufficient. Due to low altitude and a larger number of individual shots, the resolution can be increased as desired. The use of a UAV is also recommended for the production of orthophotos. The swiveling device can be used to take real vertical exposures, resulting in fewer distortions and errors in the final result. When documenting the surface with a ladder, this is hardly possible or associated with a high security risk. The ever better developments of recent years, such as. automatic flight mode, photo intervals, recording of RAW images, swiveling 3-axis gimbals, longer flight times up to 30 min, stable quiet flight behavior and live image transmissions etc. have further expanded the field of application of UAVs. Due to their low weight, they are perfect for accompanying surface inspections. Meanwhile, devices with thermal imaging cameras or integrated laser scanners are on the market, so UAVs are soon also suitable for issues in the field of landscape archeology and large-scale field prospecting.

To what extent do the presented results provide new foundations and added value for mediation and public relations?

As mentioned, countless subsequent applications can arise from the 3D data. Animations are ideal for clearly communicating statements by scientists to a broad lay audience. They are a popular tool of communication. In the museum, animations or films are often used to Breathe new life into objects or better visualize the path of origin (for example in the case of metals or ceramics).

Part of the raw data capture 2017 was implemented as part of the VirtualArch project. Its goal is to bring the history of the landscape closer to the public through modern methods such as AR, VR and mobile applications.³⁷⁶ Thus, results of the submitted case studies, in this case aerial survey surveys, are directly communicated. Also future projects in the field of public switching, e.g. Crowd sourcing is conceivable: The town of Hallstatt is one of the most visited places in Central Europe, which means there are thousands of photographs from different perspectives. Similar to the Bundler project at the Colosseum, an attempt to produce a 3D model using IBM methods would be interesting.³⁷⁷

³⁷⁵ HANSEN 2013, 91-94.

³⁷⁶ INTERREG VIRTUALARCH HALLSTATT 2017 (last accessed 28.09.2019).

³⁷⁷ AGARWAL ET AL. 2009, 1-8.

The areas of virtual and augmented reality also have great future potential in the cultural mediation of archeology.³⁷⁸ Visitors can experience content immersive and with all their senses. Before that, it requires good planning, especially storytelling is crucial for the reception, otherwise content is created, which are technically well implemented, but make no sense to the user. AR is particularly useful for outdoor tours and object presentations because the audience can experience the content with their own mobile device. Although developments in the AR area are still in their infancy, the potential for future applications is enormous.

What future developments can be expected?

In general, the methods presented in the future will lead to ever faster and better results. By incorporating all research findings, VR or AR can not only serve as a support to science, such as in the development of a VR-GIS for archaeological interpretation and discussion, it can also be used for e.g. serve virtual time travel and playful mediation. This especially attracts a young audience back into the museum.

In Hallstatt research, 3D documentation based on the described procedure is already being used as a fixed component. A Virtual Reality experience is now offered to convey the latest research results to a broad audience.³⁷⁹

Since these applications are developed both in the scientific field and in public relations work, one can look forward to the future.

5.1.3 Deutsche Kurzzusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein Überblick zu den aktuell gängigen Formen der 3D-Dokumentation und -Rekonstruktion gegeben. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf der praktischen Anwendung von aktiven und passiven Methoden. Ein weiterer Punkt ist die Präsentation der produzierten Daten, mit dem Ziel der Vermittlung in Ausstellungen, Museen und Lehre.

Der Fundort Hallstatt eignete sich durch die über Jahrtausende andauernde Bergbautätigkeit perfekt für die Entwicklung mehrerer Fallstudien in Bereichen der modernen 3D-Datenerstellung.

Aufgrund des umfassenden archäologischen Erbes Hallstatts mussten vorab genaue Teilbereiche für die Untersuchungen definiert werden, um einen umsetzbaren Arbeitsprozess zu entwickeln.

Es wurden zwei Bereiche für die geplanten Versuchsreihen ausgewählt:

Der bronzezeitliche Bergbau im Christian-von-Tusch-Werk und die spätlatènezeitliche Gewerbesiedlung auf der Dammwiese.

Zu Beginn wird ein Einblick in den archäologischen Forschungsstand beider Fundstellen geschaffen.

³⁷⁸ RESCHREITER 2019 (last accessed 20.09.2019).

³⁷⁹ RESCHREITER 2019 (last accessed 20.09.2019).

Durch neun technische Fallstudien werden diverse Dokumentationsmethoden vorgestellt.

Für den prähistorischen Bergbau wurde eine vollständige Hohlraumvermessung der Stollen vorgenommen und anschließend 3D-Daten exportiert und damit ein neuer Überblick zur Gesamtsituation der Grabung unter Tage geschaffen. Im Fall der Dammwiese wurden eine 3D-Rekonstruktion und eine 3D-Visualisierung der Grabungssituation von 1887/1888 sowie 3D-Repliken von ausgewählten Funden produziert und diverse UAV-Befliegungen durchgeführt. Auch Animationen, Visualisierungen und eine AR-Applikation werden präsentiert.

Die 3D-Dokumentation gehört mittlerweile in der archäologischen Feldforschung zum Standard und wird aufgrund der rasanten technischen Weiterentwicklung immer einfacher, schneller und günstiger umsetzbar.

Die Ergebnisse können durch moderne Vermittlungskonzepte multimedial und immersiv eingesetzt werden.

5.1.4 English Abstract

The present work provides an overview of the currently common forms of 3D documentation and reconstruction. One focus is on the practical application of active and passive methods. Another point is the presentation of the produced data in exhibitions, museums and teaching.

The Hallstatt site was perfectly suited for the development of several case studies in areas of modern 3D data creation through millennia of mining activity.

Due to Hallstatt's extensive archaeological heritage, it was necessary to define areas of investigation in advance in order to develop a workable process. Two areas were selected for the planned test series:

The Bronze Age mining in the Christian-von-Tuschwerk and the late-La Tène commercial settlement on the Dammwiese.

At the beginning, an insight into the archaeological state of research of both sites is created.

Nine technical case studies present various documentation methods.

For the prehistoric mining a complete cavity measurement of the tunnels was made, the exported 3D data created a new overview of the overall situation of excavation underground. In the case of the Dammwiese, a 3D reconstruction and a 3D visualization of the excavation situation of 1887/1888 as well as 3D replicas of selected finds were produced and various UAV surveys were carried out. Animations, visualizations and an AR application are also presented.

The 3D documentation is now standard in archaeological field research and due to the rapid technical development is always easier, faster and cheaper to implement. The results can be used by modern multimedia and immersive presentation concepts.

5.2 Anhang

5.2.1 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 2:

Quelle: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 3:

Quelle: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 4:

Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

ABBILDUNG 5:

Quelle: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 163.

ABBILDUNG 6:

Quelle: Vom Autor erstellt 2019.

Plan: Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 160-161.

Hintergrund: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 7:

Quelle: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 163.

ABBILDUNG 8:

Quelle: F. Morton 1937 und 1939, Museum Hallstatt.

In: Hallstatt: Ein Führer durch die Sammlungen des hallstätter Museums mit einem Rückblick auf die viertausendjährige Kultur des berühmten Bergmannsortes. Bild 26, 27, 43, 44, 46.

In: Unterhaltung und Wissen: Die Dammwiesengrabung des Hallstätter Museum. Zeitungsartikel aus unbekannter Quelle, vermutlich Sparkassenzeitung, Archiv Nr. 12296S, Hallstatt 1936-1937, 8.

ABBILDUNG 9:

Quelle: Fig. 1, K. Rudolph 1931, 341 In: Paläofloristische Untersuchung des Torflagers auf der „Dammwiese“ bei Hallstatt. Sitzungsberichte d. mathem.-naturw. Kl., Abt. I, 140. Bd., 5. u. 6. Heft, Prag 1931, 338-345.

ABBILDUNG 10:

Quelle: A. Mahr 1925, NHM Wien Abb. 11 und F. Morton 1937, 1939, Museum Hallstatt.

In: Das vorgeschichtliche Hallstatt: Zugleich Führer durch die Hallstattsammlung des Naturhistorischen Museums in Wien. Veröffentlichungen des Vereines der Freunde des Naturhistorischen Museums, Heft 8-12, Wien 1925, Abb. 11.

In: Hallstatt: Ein Führer durch die Sammlungen des hallstätter Museums mit einem Rückblick auf die viertausendjährige Kultur des berühmten Bergmannsortes. Bild 47, 48, 50.

In: Unterhaltung und Wissen: Die Dammwiesengrabung des Hallstätter Museum. Zeitungsartikel aus unbekannter Quelle, vermutlich Sparkassenzeitung, Archiv Nr. 12296S, Hallstatt 1936-1937, 9.

ABBILDUNG 11:

Quelle: Grundlage - Schauburger 1960, Grafik - Klaus Löcker.

In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 162.

ABBILDUNG 12:

Quelle: Bild oben links: Th. Stöllner (ÖFD), Bild oben rechts: K. Zeller (ÖFD), unten: W. Lobisser.

In: T. STÖLLNER, K. OEGGL (Hrsg.), Bergauf Bergab: 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. VML Verlag Marie Leidorf, Bochum 2015. S. 330, Abb. 7. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 173.

ABBILDUNG 13:

Quelle: K. Zeller (ÖFD), 1984.

In: K. ZELLER, Latènezeitliche Gewerbebetriebe auf dem Dürrnberg bei Hallein. In: VERÖFFENTLICHUNG DES VORGESCHICHTLICHEN SEMINARS MARBURG (Hrsg.),

Studien zu Siedlungsfragen de Latènezeit. Sonderband 3, Marburg 1984, 204-206, Abb. 2 und Abb. 4.

ABBILDUNG 14:

Quelle: Links - Grafik: V. Grünewald, Mainz. Rechts: V. Rupp, hessenArchäologie.
In: HESSENARCHÄOLOGIE, ZUSAMMENGESTELLT VON U. RECKER (Hrsg.), hessenArchäologie 2013. Jahrbuch für Archäologie und Paläontologie in Hessen, Landesamt für Denkmalpflege Hessen 2013, 92-94, Abb. 1 und Abb. 4.

ABBILDUNG 15:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien.
Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 16:

Quelle: A. Linzbauer 2018, Studiensammlung des Institut für UHA Universität Wien und Crazy Eye OG 2018.

ABBILDUNG 17:

Quelle: D. Brandner 2016, NHM Wien.
In: M. VOSATKA, Archäologie am Berg: Ein gläsernes Bergwerk in Hallstatt
derstandard.at

ABBILDUNG 18:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 19:

Quelle:
Oben links: stereolabs.com/zed 2019.
Oben rechts: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt 2017 produziert.
Unten: R. Skomorowski 2019, Crazy Eye OG und Novetus GesmbH.

ABBILDUNG 20:

Quelle: 3D Modell - Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien.
Plan - W. Lobisser.
In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 173.

ABBILDUNG 21:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien.
Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 22:

Quelle:

Oben: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018, in Kooperation mit Terra Mater Factual Studios und der PA des NHM Wien.

Unten: Vom Autor und A. Linzbauer 2019, ArchaeoBits: Hallstatt, Fotos Stiege - A. W. Rausch, NHM Wien.

ABBILDUNG 23:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019, in Kooperation mit der PA des NHM Wien.
Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 24:

Quelle: Vom Autor erstellt 2017, Crazy Eye OG.

ABBILDUNG 25:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 26:

Quelle:

Links: F. E. Barth 1989, SALINEN AUSTRIA

In: SALINEN AUSTRIA (Hrsg.) 1989, F. E. Barth, Der Mann im Salz - Kilbwerk 1734. Hallstatt 1989, 59. Rechts: K. Löcker, NHM Wien

In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 205.

ABBILDUNG 27:

Quelle: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 28:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 29:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 30:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 31:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 32:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 33:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 34:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Skomorowski erstellt 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Rechts: Vom Autor erstellt 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 35:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 36:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 37:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.
Sketchfab.com/crazyeye 2018.

ABBILDUNG 38:

Quelle:

Links: T. Ragger 2017, NHM Wien. Rechts: D. Brandner 2017, NHM Wien, Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt

In:

INTERREG VIRTUALARCH HALLSTATT 2017

Projekthomepage Interreg VirtualArch, Teilprojekt: Hallstatt
[interreg-central.eu/Content.Node/VirtualArch](https://www.interreg-central.eu/Content.Node/VirtualArch)
[https://www.interreg-central.eu/Content.Node/VirtualArch/
Pilot-Heritages/Hallstatt.html](https://www.interreg-central.eu/Content.Node/VirtualArch/Pilot-Heritages/Hallstatt.html)

ABBILDUNG 39:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den Salinen Austria AG und dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt 2017 produziert.

ABBILDUNG 40:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den Salinen Austria AG und dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt 2017 produziert.

ABBILDUNG 41:

Quelle: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.

ABBILDUNG 42:

Quelle: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.

ABBILDUNG 43:

Quelle: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.

ABBILDUNG 44:

Quelle: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.

ABBILDUNG 45:

Quelle:

Links: Vom Autor und R. Fragner (IMA) 2018. In Kooperation mit Terra Mater Factual Studios, Salinen Austria AG und der PA des NHM Wien.

Rechts: Vom Autor und A. Linzbauer 2019, ArchaeoBits: Hallstatt, Fotos Stiege - A. W. Rausch, NHM Wien.

ABBILDUNG 46:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.

ABBILDUNG 47:

Quelle: Erstellt vom Autor 2014-2015. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

ABBILDUNG 48:

Quelle: Erstellt vom Autor 2014-2015. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 49:

Quelle: Erstellt vom Autor 2014-2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, dem Interreg Projekt VirtualArch Hallstatt, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2019 produziert. Grundlage: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 50:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.

In: CHNT 2018, Stadtarchäologie Wien, Postersession.

ABBILDUNG 51:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.

In: CHNT 2018, Stadtarchäologie Wien, Postersession.

ABBILDUNG 52:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.

In: CHNT 2018, Stadtarchäologie Wien, Postersession.

ABBILDUNG 53:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski,

Crazy Eye OG. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

In: CHNT 2018, Stadtarchäologie Wien, Postersession.

ABBILDUNG 54:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit W. Rechberger und der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.

In: CHNT 2018, Stadtarchäologie Wien, Postersession.

ABBILDUNG 55:

Quelle: Erstellt vom Autor 2018, A. Linzbauer, R. Weßling und R. Skomorowski, Crazy Eye OG. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und den Salinen Austria AG.

In: CHNT 2018, Stadtarchäologie Wien, Postersession.

ABBILDUNG 56:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Auf Basis der Daten von: Th. Stöllner 2007. Hintergrund: data.gv.at, Geländemodell Österreich, 10 m. In: T. STÖLLNER, Siedlungsdynamik und Salzgewinnung im östlichen Oberbayern und in Westösterreich während der Eisenzeit. In: A. HUBER, J. PRAMMER, R. SANDER, C. TAPPERT (Hrsg.), Siedlungsdynamik und Gesellschaft: Beiträge des internationalen Kolloquiums zur keltischen Besiedlungsgeschichte im bayerischen Donaauraum, Österreich und der Tschechischen Republik. Jahresbericht des historischen Vereins Straubing und Umgebung, Sonderband 3, Straubing 2007, 313-362.

ABBILDUNG 57:

Quelle: Vom Autor erstellt 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien.

Plan: Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 160-161.

Hintergrund: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 58:

Quelle:

Links oben: F. Morton 1939, Museum Hallstatt.

In: Hallstatt: Ein Führer durch die Sammlungen des hallstätter Museums mit einem Rückblick auf die viertausendjährige Kultur des berühmten Bergmannsortes. Bild 26.

Erstellt vom Autor 2015-2019. Die Rohdaten wurden in Kooperation mit der PA des NHM Wien, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016 produziert.

Hintergrund: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

ABBILDUNG 59:

Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

ABBILDUNG 60:

Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

ABBILDUNG 61:

Quelle: Vom Autor erstellt 2019, Grundlageplan: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundaktenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesarchiv.

ABBILDUNG 62:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien.

ABBILDUNG 63:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Die Häuserrekonstruktionen wurden auf Basis der Pläne von W. Lobisser erstellt.

ABBILDUNG 64:

Quelle: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Hintergrund: DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt.

5.2.2 Linkverzeichnis

AR-CORE, GOOGLE 2019

AR-Core, Augmented Reality Tool. Copyright by Google Ltd.

[google.com/ar](https://developers.google.com/ar)

<https://developers.google.com/ar>

(letzter Zugriff 19.09.2019).

ARKIT, APPLE 2019

ARKit, Augmented Reality Tool. Copyright by Apple Inc.

[apple.com/augmented-reality/](https://developer.apple.com/augmented-reality/)

<https://developer.apple.com/augmented-reality/>

(letzter Zugriff 19.09.2019).

BENDEL 2019a

O. BENDEL, Gameification, wirtschaftslexikon.gabler.de

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/gamification-53874/version-368843>

(letzter Zugriff 30.08.2019).

BENDEL 2019b

O. BENDEL, Virtual-Reality, wirtschaftslexikon.gabler.de
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/virtuelle-realitaet-54243>
(letzter Zugriff 27.08.2019).

BINDER 2019

M. BINDER, Die Vermessung des Nazi-Bunkers: Der Rudolfstollen bei Linz. Warum es wichtig ist, die Überbleibsel der NS-Zeit zu dokumentieren, Standard-Archäologieblog, derstandard.at
<https://www.derstandard.at/story/2000107883258/die-vermessung-des-nazi-bunkers-der-rudolfstollen-bei-linz>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

BRANDNER 2018

D. BRANDNER, Fünf Wochen, fünf Meter - Der Nordvortrieb. hallstatt-forschung.blogspot.com
<http://hallstatt-forschung.blogspot.com/2018/10/funf-wochen-funf-meter-der-nordvortrieb.html>
(letzter Zugriff 15.09.2019).

CHNT 2018

CHNT 24, Conference on Cultural Heritage and New Technologies, chnt.at
<https://www.chnt.at/category/2018/>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

CLOUDCOMPARE 2019

CLOUDCOMPARE, User Manual, danielgm.net/cc/
<https://www.danielgm.net/cc/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>
(letzter Zugriff 10.09.2019).

DJI 2019

DJI Phantom Series, dji.com
<https://www.dji.com/at/products/phantom?site=brandsite&from=nav>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

DORIS 2019

Digitales Oberösterreichisches Raum-Informationssystem: Doris Inter Map - Atlas des Landes Oberösterreich, doris.ooe.gv.at
<https://doris.ooe.gv.at/>
(letzter Zugriff 18.09.2019).

DREHER 2019

T. DREHER, Geschichte der Computerkunst: IV. Bilder in Bewegung, IV.2 Computeranimation. IASOnline NetArt: Theorie, Universität München 2019.
<http://iasl.uni-muenchen.de>

<http://iasl.uni-muenchen.de/links/GCA-IV.2.html>
(letzter Zugriff 09.09.2019).

DUDEN 2019a

„Computeranimation“ auf Duden online, duden.de
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Computeranimation>
(letzter Zugriff 03.09.2019).

DUDEN 2019b

„Immersion“ auf Duden online, duden.de
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Immersion>
(letzter Zugriff 02.09.2019).

DUDEN 2019c

„Rekonstruktion“ auf Duden online, duden.de
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Rekonstruktion>
(letzter Zugriff 03.09.2019).

DUDEN 2019d

„Rendering“ auf Duden online, duden.de
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Rendering>
(letzter Zugriff 03.09.2019).

DUDEN 2019e

„Animation“ auf Duden online, duden.de
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Animation>
(letzter Zugriff 10.09.2019).

EPIC UNREAL ENGINE 2019

About Unreal Engine, unrealengine.com
<https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>
(letzter Zugriff 28.09.2019).

ETIENNE 2018

J. ETIENNE, AR.js - Augmented Reality for the Web.
github.com/jeromeetienne
<https://github.com/jeromeetienne/AR.js/>
(letzter Zugriff 19.09.2019).

FARMLBAUER 2019

M. FARMLBAUER, Museumsbrand von Rio: Auferstehen aus Ruinen, spektrum.de
<https://www.spektrum.de/news/auferstehen-aus-ruinen/1658428>
(letzter Zugriff 10.10.2019).

FRAGNER 2018

R. A. FRAGNER, Industrial-Motion-Art: VFX Studio.
industrial-motion-art.com

www.industrial-motion-art.com
(letzter Zugriff 24.09.2019).

GOOGLE EARTH 2019

Google Earth, Copyright by Google Ltd.
google.com/earth/
<https://www.google.com/earth/>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

GRUSS, STADT KÖLN 2019

C. GRUSS, Stadt Köln: Beginn der Arbeiten am Bergungsbauwerk.
stadt-koeln.de
<https://www.stadt-koeln.de/artikel/07168/index.html>
(letzter Zugriff 10.10.2019).

HUANG 1996

T. S. HUANG, Computer Vision: Evolution and Promise, cds.cern.ch
<https://cds.cern.ch/record/400313/files/p21.pdf>
(letzter Zugriff 27.09.2019).

HUAWEI 2019

Huawei Mate30 Pro 5G, huawei.com
<https://consumer.huawei.com/en/phones/mate30-pro-5g/>
(letzter Zugriff 10.09.2019).

INTERREG VIRTUALARCH HALLSTATT 2017

Projekthomepage Interreg VirtualArch, Teilprojekt: Hallstatt
interreg-central.eu/Content.Node/VirtualArch
<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/VirtualArch/Pilot-Heritages/Hallstatt.html>
(letzter Zugriff 28.09.2019).

KROGH-JACOBSEN 2019

T. KROGH-JACOBSEN, Unity Blog, blogs.unity.com
<https://blogs.unity3d.com/2019/07/30/heres-whats-in-the-brand-new-unity-2019-2/>
(letzter Zugriff 28.09.2019).

LINZBAUER & RAAB 2018

A. LINZBAUER, G. RAAB, Hinein in den Stollen: Das virtuelle Bergwerk von Hallstatt, Standard-Archäologieblog, derstandard.at
<https://www.derstandard.at/story/2000089538039/hinein-in-den-stollen-das-virtuelle-bergwerk-von-hallstatt>
(letzter Zugriff 30.09.2019).

LINZBAUER 2019

A. LINZBAUER, ArchaeoBits: Hallstatt - Aus dem Salz in die Vitrine.
archaeobits.at

<https://www.archaeobits.at/>
(letzter Zugriff 25.09.2019).

MAPIRE 2019

Mapire - historical Maps, mapire.eu
<https://mapire.eu/de/>
(letzter Zugriff 19.09.2019).

MARKGRAF 2018

D. MARKGRAF, Augmented Reality, wirtschaftslexikon.gabler.de
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/augmented-reality-53628>
(letzter Zugriff 27.08.2019).

MICROSOFT 2019

Microsoft Kinect Azure, azure.microsoft.com
<https://azure.microsoft.com/en-in/services/kinect-dk/>
(letzter Zugriff 09.09.2019).

ONLINE WALK CHRISTIAN-VON-TUSCH-WERK 2019

G. Raab 2018, Virtual-Saltmine, crazyeye.at
<https://interactive-art.at/crazy-eye/Walk/>
(letzter Zugriff 30.09.2019).

POKÉMON GO 2019

Pokémon Go, Niantic Inc. & Nintendo Inc. 2019, pokemongo.com
<https://www.pokemongo.com/en-us/>
(letzter Zugriff 12.09.2019).

POPPENWIMMER 2018

F. POPPENWIMMER, Dem Salz folgend - Das Westend. hallstatt-forschung.blogspot.com
<http://hallstatt-forschung.blogspot.com/2018/09/dem-salz-folgend-das-westend.html>
(letzter Zugriff 30.09.2019).

RAAB 2015

G. RAAB, 3D Dokumentation im Christian von Tusch-Werk, Stiegen-Blog: Archäologische Forschung Hallstatt. hallstatt-forschung.blogspot.com
<http://hallstatt-forschung.blogspot.com/2015/10/3d-dokumentation-im-christian-von-tusch.html>
(letzter Zugriff 16.09.2019).

RESCHREITER 2014

H. RESCHREITER, Unsere Stiege in 3D, Stiegen-Blog: Archäologische Forschung Hallstatt. hallstatt-forschung.blogspot.com
<http://hallstatt-forschung.blogspot.com/2014/10/unsere-stiege-in-3d.html>
(letzter Zugriff 30.09.2019).

RESCHREITER 2019

H. RESCHREITER, Virtual Reality Salzbergwerk Hallstatt virtuell erleben.
nhm-wien.ac.at
https://www.nhm-wien.ac.at/fuehrungen_aktivitaeten/virtual_reality
(letzter Zugriff 20.09.2019).

RIECKHOFF 2008

S. RIECKHOFF, Geschichte der Chronologie der Späten Eisenzeit in Mitteleuropa und das Paradigma der Kontinuität. In: S. RIECKHOFF, W.-R. TEEGEN (Hrsg.), Leipziger online-Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 30.
gko.uni-leipzig.de
https://www.gko.uni-leipzig.de/fileadmin/user_upload/historisches_seminar/02urundfruehgeschichte/Online_Beitraege/0nlBei30.pdf
(letzter Zugriff 10.10.2019).

SAMSUNG 2019

Samsung Galaxy S10 5G, samsung.com
<https://www.samsung.com/us/mobile/galaxy-s10-5g/>
(letzter Zugriff 10.09.2019).

SKETCHFAB CRAZY EYE 2019a

Crazy Eye 3D Studio, Web 3D-Modell Christian-von-Tusch-Werk,
sketchfab.com/crazyeye
<https://sketchfab.com/3d-models/hallstatt-chr-v-tuschwerk-offen-c0c251e1fbd640daa3c99f6507ac562c>
(letzter Zugriff 30.09.2019).

SKETCHFAB CRAZY EYE 2019b

Crazy Eye 3D Studio, Google Earth 3D Export: Hallstatt Landscape.
Google Earth 3D Export: Hallstatt, Austria Test by Crazy Eye 2018 on Sketchfab,
Copyright Images: Image 2018 Digital Globe, Image Landsat, Geoimage Austria,
Image 2018 Salzburg AG.
sketchfab.com/crazyeye
<https://sketchfab.com/3d-models/google-earth-3d-export-hallstatt-landscape-583f2b99d304484ba8103db04803796a?cursor=cD0yMDE5LTAyLTI3KzIyJTNBMDIIM0EzOS43NTA4OTg%3D>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

SKOMOROWSKI, CRAZY EYE 2019

R. SKOMOROWSKI, 3D Walk Rudolfsstollen Linz, Crazy Eye 3D-Studio.
Presented by Matterport: matterport.com
<https://mpembed.com/show/?m=Jo3zH3Yf4EB&details=1&mdir=3&hdir=2&mdir=1&mt&hdir=2>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

STEINDL 2018

K. T. STEINDL, Kreativkraft, Hallstatt-Dawn of the Celts.
kreativkraft.com
<https://www.kreativkraft.com/films/dawn-of-the-celts>
(letzter Zugriff 25.09.2019).

STEREOLABS 2019

Stereolab ZED Depth Camera, stereolabs.com/zed/
<https://www.stereolabs.com/zed/>
(letzter Zugriff 07.09.2019).

UNESCO 2019

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization,
whc.unesco.org/en/
<https://whc.unesco.org/en/list/806>
(letzter Zugriff 10.10.2019).

UNITY3D 2019

Unity Game Engine, unity.com
<https://unity.com/>
(letzter Zugriff 28.09.2019).

VOSATKA 2016

M. VOSATKA, Archäologie am Berg: Ein gläsernes Bergwerk in Hallstatt
derstandard.at
<https://www.derstandard.at/story/2000043039741/archaeologie-am-berg-ein-glaesernes-bergwerk-in-hallstatt>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

VUFORIA 2019

Vuforia Engine Plugin, Vuforia Augmented Reality, Copyright by PTC, vuforia.com
<https://developer.vuforia.com/>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

WILDBACH UND LAWINENVERBAUUNG 2019

Österreichische Wildbach und Lawinenverbauung, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
bmnt.gv.at
<https://www.bmnt.gv.at/forst/wildbach-lawinenverbauung.html>
(letzter Zugriff 20.09.2019).

5.2.3 Literaturverzeichnis

ADI & WIDODO 2017

K. ADI, C. E. WIDODO, Distance Measurment with a Stereo Camera. In: DR. A. ARUL L.S(ed.),International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), Volume IV, India 2017, 24-27.

AGARWAL ET AL. 2009

S. AGARWAL, N. SNAVELY, I. SIMON, S. M. SEITZ, R. SZELISKI, Building Rome in a Day. International Conference on Computer Vision, Kyoto, Japan 2009, 1-8.

AUGSTEIN 2006

M. AUGSTEIN, Offene Siedlungen der Mittel- und Spätlatènezeit in Mittel- und Westeuropa. In: DGUF, Echt falsch - Die rekonstruierte Vergangenheit. Dissertationen und Magisterarbeiten, Archäologische Informationen 29/1 und 2, DGUF 2006, 205-210.

AUZENNE 1994

R. V. AUZENNE, The Visualization Quest. A History of Computer Animation. Cranbury/New Jersey 1994.

AZUMA 1997

R. T. AZUMA, A survey of augmented reality. Teleoperators and Virtual Environments archive Volume 6 Issue 4, USA 1997, 355-385.

BARTH 1987

F. E. BARTH, Zur Geschichte des Begriffes Heidengebirge. Annalen des Naturhistorischen Museums Wien A89, Wien 1987, 205-209.

BARTH 1989

F. E. BARTH Der Mann im Salz. Salzbergwerk Hallstatt, Quellen und Literaturauszüge zum „Mann im Salz“. Hallstatt 1989.

BARTH 1993

F. E. BARTH, Ein Füllort des 12. Jahrhunderts v. Chr. im Hallstätter Salzberg. Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wien 123/124, Wien 1993, 27-38.

BARTH 1998

F. E. BARTH, Bronzezeitliche Salzgewinnung in Hallstatt. In: B. HÄNSEL (Hrsg.), Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas, Kiel 1998, 123-128.

BARTH & LOBISSER 2002

F. E. BARTH, W. LOBISSER, Das EU-Projekt Archeolive und das archäologische Erbe von Hallstatt. Veröffentlichungen aus dem Naturhistorischen Museum in Wien, Neue Folge 29, Wien 2002.

BARTH, RESCHREITER & KOWARIK 2008

F. E. BARTH, H. RESCHREITER, K. KOWARIK, Bronzezeit - der Aufschwung: Von der Sau zum Speck. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 78-80.

BREINER ET AL. 2014

O. BREINER, M. RAVITZ, Y. DROMI, N. SAGIR, Answering the Challenge and Harnessing the Future for Heritage. In: R. FRANKEN-WENDELSTORF, E. LINDINGER, J. SIECK (Hrsg.), Kultur und Informatik: Reality and Virtuality, Glückstadt 2014, 119-142.

BREUER 2005

P. BREUER, Entwicklung einer prototypischen Gestenerkennung in Echtzeit unter Verwendung einer IR-Tiefenkamera. Diplomarbeit, Universität Koblenz Landau 2005, 3.

BROCKMANN 2019

H. BROCKMANN, Erfassung von 3D-Daten im archäologischen und kulturhistorischen Kontext. In: Auferstehung der Antike: Archäologische Stätten digital rekonstruiert. Wbg wissenschaftliche Buchgesellschaft, Philipp von Zabern Verlag, Darmstadt 2019, 24-27.

BROWNE 2019a

A. K. BROWNE, Erstellung von digitalen Oberflächen-und Geländemodellen sowie 3D-Modellen. In: Auferstehung der Antike: Archäologische Stätten digital rekonstruiert. Wbg wissenschaftliche Buchgesellschaft, Philipp von Zabern Verlag, Darmstadt 2019, 62-65.

BROWNE 2019b

A. K. BROWNE, Visualisierung von 3D-Modellen. In: Auferstehung der Antike: Archäologische Stätten digital rekonstruiert. Wbg wissenschaftliche Buchgesellschaft, Philipp von Zabern Verlag, Darmstadt 2019, 62-65.

BRUNO ET AL. 2010

F. BRUNO, S. BRUNO, G. DE SENSI, M.-L. LUCHI, S. MANCUSO, M. MUZZUPAPPA, From 3D reconstruction to virtual Reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition, Journal of Cultural Heritage 11, Elsevier Niederlande 2010, 42-49.

CODINA ET AL. 2019

F. CODINA, G. DE PRADO, I. RUIZ, A. SIERRA, Ein iberisches Oppidum: Die virtuelle 3D-Rekonstruktion der Siedlung Ullastret in Katalonien. In: Auferstehung der Antike: Archäologische Stätten digital rekonstruiert. Wbg wissenschaftliche Buchgesellschaft, Philipp von Zabern Verlag, Darmstadt 2019, 52-53.

DENARD ET AL. 2009

H. DENARD (Hrsg.), Die Londoner Charta: Für die computergestützte Visualisierung von kulturellem Erbe. Entwurf 2.1, London 2009, 1-14.

DENKER 2017

A. DENKER, Rebuilding Palmyra Virtuality: Recreation of its former glory in digital space. *Virtual Archaeology Review*, 8(17), València-Spain 2017, 20-30.

DE REU ET AL. 2013

J. DE REU, G. PLETS, G. VERHOEVEN, P. DE SMEDT, M. BATS, B. CHERRETTÉ, W. DE MAEYER, J. DECONYNCK, D. HERREMANS, P. LALOO, M. VAN MEIRVENNE, Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40, (2), Elsevier Niederlande 2013, 1108-1121.

DERIS ET AL. 2017

A. DERIS, I. TRIGONIS, A. ARAVANIS, E. K. STATHOPOULOU, Depth Cameras on UAVs: A first approach. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W3, 2017. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Nafplio, Greece 2017, 231-236.

DONEUS & NEUBAUER 2005

M. DONEUS, W. NEUBAUER, 3D laser scanners on archaeological excavations. In: DEQUAL, S. (ed.). *Proceedings of the XXth International Symposium CIPA, Torino 2005. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36 (5)/C34/1. 226–231.

DONEUS 2013

M. DONEUS, Openness as Visualization Technique for Interpretative Mapping of Airborne Lidar Derived Digital Terrain Model. *Remote Sensing*, 5, MDPI Switzerland 2013, 6427-6442.

DONEUS ET AL. 2018

N. DONEUS, W. NEUBAUER, M. DONEUS, M. WALLNER, Die archäologische Landschaft von Halbtun. Ergebnisse aus drei Jahrzehnten integrierter archäologischer Prospektion. *Arch. Austriaca* 102, Wien 2018, 201-226.

DRDA, RYBOVÁ 1997

P. DRDA, A. RYBOVÁ, Die keltischen Oppida im Zentrum Boiohaemums, *Pam. Arch.* 88, 65–123.

EHRET 2008

D. EHRET, Bronzezeit - der Aufschwung: Das Ende des bronzezeitlichen Bergbaus. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), *Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung* 2, Wien 2008, 66-69.

EINSPIELER 2012

M. EINSPIELER, Augmented Reality (AR) - Der Einfluss von AR auf die Geokommunikation. Dissertation, Universität Wien 2012.

ELBERT 2018A

W. ELBERT, Die Architektur der Kelten. Siedlungsmuster, Bauformen und Konstruktionsprinzipien der Eisenzeit, Teil 1 Text, Dissertation, Institut für Architekturgeschichte der Universität Stuttgart 2018.

ELBERT 2018B

W. ELBERT, Die Architektur der Kelten. Siedlungsmuster, Bauformen und Konstruktionsprinzipien der Eisenzeit, Teil 2 Abbildungen, Dissertation, Institut für Architekturgeschichte der Universität Stuttgart 2018.

ELBURG ET AL. 2014

R. ELBURG, T. REUTER, F. INNERHOFER, 3D-Dokumentation und Visualisierung eines frühneolithischen Holzbrunnens: Erfahrungen und Perspektiven. Konferenzband EVA Berlin 2014, Elektronische Medien & Kunst, Kultur und Historie, 21. Berliner Veranstaltung der internationalen EVA-Serie: Electronic Media and Visual Arts, Berlin 2014, 64-71.

FONSTAD ET AL. 2012

M. FONSTAD, J. DIETRICH, B. COURVILLE, J. JENSEN, P. CARBONNEAU, Topographic Structure from Motion: a new development in photogrammetric measurement. John Wiley & Sons, Ltd., USA 2012, 421.

FRANZMEIER, HAGENAUER 2019

H. FRANZMEIER, S. HAGENAUER, Pi-Ramesse: Die ägyptische Hauptstadt des späten Neuen Reiches. In: Auferstehung der Antike: Archäologische Stätten digital rekonstruiert. Wbg wissenschaftliche Buchgesellschaft, Philipp von Zabern Verlag, Darmstadt 2019, 30-31.

FURGER-GUNTI 1979

A. FURGER-GUNTI, Die Ausgrabungen im Basler Münster I. Die spätkeltische und augusteische Zeit (1. Jahrhundert v. Chr.), Basler Beiträge Ur- u. Frühgeschichte 6, Derendingen-Solothurn 1979.

FURGER-GUNTI, BERGER 1980

A. FURGER-GUNTI, L. BERGER, Katalog und Tafeln der Funde aus der spätkeltischen Siedlung Basel-Gasfabrik. Basler Beiträge Ur- u. Frühgeschichte 7, Derendingen-Solothurn 1980.

GAKSTATTER 2009

E. GAKSTATTER, URTK Networks-What, Why, Where?. USSLS/CGSIC Meeting, Georgia 2009.

GEBHARD 1991

R. GEBHARD, Die Fibeln aus dem Oppidum von Manching. Ausgrabungen in Manching 14, Wiesbaden 1991.

GEBHARD, WAGNER 2000

R. GEBHARD, U. WAGNER, Graphittonkeramik – Möglichkeiten naturwissenschaftlicher Untersuchungen. In: M. CHYTRÁÈEK, J. MICHÁLEK, K. SCHMOTZ (Hrsg.), Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern/West- und Südböhmen. 9. Treffen 23. bis 26. Juni 1999 in Neukirchen b. Hl. Blut, Rahden/Westf 2000, 171–177.

GEBHARD 2004

R. GEBHARD, Die spätkeltische Gräbergruppe von Hörgertshausen. Lkr. Freising. In: C.-M. HÜSSEN, W. IRLINGER, W. ZANIER (Hrsg.), Spätlatènezeit und frühe römische Kaiserzeit zwischen Alpenrand und Donau. Akten des Kolloquiums Ingolstadt am 11. und 12. Oktober 2001. Röm.-Germ. Komm. Frankfurt a. M., Koll. Vor- und Frühgesch. 8, Bonn 2004 105–112.

GLEIRSCHER 1984

P. GLEIRSCHER, Die Kleinfunde der Hohen Birga bei Birgitz. Ein Beitrag zur Fritzens-Sanzeno-Kultur, unpublizierte Dissertation, Universität Innsbruck 1984.

GONZALEZ-JORGE ET AL. 2013

H. GONZALEZ-JORGE, B. RIVEIRO, E. VAZQUEZ-FERNANDEZ, J. MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, P. ARIAS, Metrological evaluation of microsoft kinect and asus xtion sensors. Measurement, 46(6), 2013, Elsevier Niederlande 2013, 1800-1806.

GORA & LEIBETSEDER 2016

P. GORA, L. LEIBETSEDER, Unreal vs Unity: Ein Vergleich zwischen zwei modernen Spiele-Engines. Bachelorarbeit, Technische Universität Wien, Wien 2016.

GRABNER ET AL. 2006

M. GRABNER, H. RESCHREITER, F. E. BARTH, D. GEIHOFFER, R. WIMMER, A. KLEIN, Die Dendrochronologie in Hallstatt – Ein Statusbericht. Archäologie Österreichs 17/1, Wien 2006, 49-58.

GRABNER ET AL. 2007

M. GRABNER, A. KLEIN, D. GEIHOFFER, H. RESCHREITER, F. E. BARTH, T. SORMAZ, R. WIMMER, Bronze Age dating of timber from the salt-mine at Hallstatt, Austria. Dendrochronologia 24, 2007, 61–68.

GRABNER ET AL. 2015

M. GRABNER, H. RESCHREITER, K. KOWARIK, G. WINNER, A. KLEIN, Holz - ein wichtiges Betriebsmittel im bronzezeitlichen Salzbergbau in Hallstatt. In: T. STÖLLNER, K. OEGGL (Hrsg.), Bergauf Bergab: 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. VML Verlag Marie Leidorf, Bochum 2015, 297-304.

GRUBER 2015

H. GRUBER, Von herausragender Bedeutung: Archäologische Denkmallandschaft Salzbergtal und Dammwiese in Hallstatt. In: GESELLSCHAFT FÜR LANDESKUNDE UND DENKMALPFLEGE OBERÖSTERREICH (Hrsg.), Mitteilungen der Gesellschaft für Landeskunde und Denkmalpflege Oberösterreich (gegründet 1833). 45. Jahrgang, Heft 1, Linz 2015, 5-7.

HAN, LI, ZHAO 2017

D. HAN, X. LI, T. ZHAO, The Application of Augmented Reality Technology on Museum Exhibition - A Museum Display Project in Mawangdui Han Dynasty Tombs. In: S. LACKEY, J. CHEN (Hrsg.), Virtual, Augmented and Mixed Reality: 9th International Conference, VAMR 2017, Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017, Proceedings, Information Systems and Applications, incl. Internet/Web, and HCI, Cham 2017, 394-403.

HANSEN 2013

L. HANSEN, Neue Forschungen zur eisenzeitlichen Saline von Bad Nauheim, Wetteraukreis. Bad Nauheim und das weiße Gold der Kelten. In: HESSENARCHÄOLOGIE, ZUSAMMENGESETZT VON U. RECKER (Hrsg.), hessenArchäologie 2013. Jahrbuch für Archäologie und Paläontologie in Hessen, Landesamt für Denkmalpflege Hessen 2013, 91-94.

HECHT 1998

Y. HECHT, Die Ausgrabungen auf dem Basler Münsterhügel an der Rittergasse 4, 1982/6: Spätlatènezeit und augusteische Epoche. Materialh. Arch. Basel 16, Basel 1998.

HELL 1952

M. HELL, Die Kleinfunde von der Dammwiese in Hallstatt aus den Jahren 1936–1937. Arch. Austriaca 11, Wien 1952, 71-88.

HERRMANN UND JOCKENHÖVEL 1990

F.-R. HEERRMANN, A. JOCKENHÖVEL (Hrsg.), Die Vorgeschichte Hessens. Stuttgart 1990.

HOFMANN & MORTON 1927

E. HOFMANN, F. MORTON, Die prähistorischen Holzreste von der Dammwiese in Hallstatt aus der prähistorischen Sammlung des Hallstätter Museums. Heimatgaue, Nr. 8, Linz 1927, 90—91.

HÖFLICH 2013

J. R. HÖFLICH, Interaktivität. In: G. BENTELE, H.-B. BROSIUS, O. JARREN (Hrsg.), Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaft, Wiesbaden 2013, 131.

HOU ET AL. 2011

A. L. HOU, X. CUI, Y. GENG, J. YUAN, J. HOU, Measurement of Safe Driving

- Distance based on Stereo Vision. Sixth International Conference on Image and Graphics (ICIG), Hefei, Anhui, China 2011, 902-907.
- HUANG 1996
T. S. HUANG, Computer Vision: Evolution and Promise. In: C. E. VANDONI (ed.), CERN School of Computing. Egmond aan Zee, The Netherlands, CERN European Organization for Nuclear Research, 21-25.
- JIMÉNEZ FERNÁNDEZ-PALACIOS, MORABITO, REMONDINO 2017
B. JIMÉNEZ FERNÁNDEZ-PALACIOS, D. MORABITO, F. REMONDINO, Access to complex reality-based 3D models using virtual reality solutions, Journal of Cultural Heritage 23, Elsevier Niederlande 2017, 40-48.
- KAPPEL 1969
I. KAPPEL, Die Graphittonkeramik von Manching. Ausgrabungen Manching 2, Wiesbaden 1969.
- KARL 1996
R. KARL, Latènezeitliche Siedlungen in Niederösterreich. Untersuchungen zu Fundtypen, Keramikchronologie, Bautypen, Siedlungstypen und Siedlungsstrukturen im latènezeitlichen Niederösterreich. Historica Austria Band 2 und 3, Wien 1996.
- KERN 2008
A. KERN, Hallstattzeit - Das Gräberfeld: Die Entdeckung des Gräberfelds, Die neuen Ausgrabungen des Naturhistorischen Museums Wien. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 114-123.
- KIRCHMAYR ET AL. 2018
M. KIRCHMAYR, D. LUEGER, G. NEUHAUSER, M. PROC, V. TSIOBANIDIS, D. TURRI, E. WALDHART, J. WALLNER, Manuskript. Eisenzeitliche Siedlungen in Nordtirol, AG 644105 Wirtschaft, Staat, Gesellschaft. Institut für Archäologien, Universität Innsbruck, WS2017/2018.
- KERN ET AL. 2008
A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, J. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008.
- KOWARIK 2016
K. KOWARIK, Untersuchungen zu den Wirtschaftsstrukturen der bronze- und ältereisenzeitlichen Salzbergbaue von Hallstatt/OÖ. Dissertation, Universität Wien 2016.
- LEHMANN 2008
A. J. LEHMANN (Hrsg.), Kunst und neue Medien: ästhetische Paradigmen seit den sechziger Jahren, 2008.

LEONARD & DURRANT-WHYTE 1991

J. J. LEONARD, H. F. DURRANT-WHYTE, Mobile robot localization by tracking geometric beacons. *IEEE transactions on robotics and automation*, 7(3), New York 1991, 376-382.

LINZBAUER 2019

A. LINZBAUER, Multimediale Inszenierung von Archäologie in ausgewählten Museen im Osten Österreichs. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Wien 2019.

LOBISSER 2015

W. F. A. LOBISSER, Eisenzeitliche Holznutzung in der Gewerbesiedlung Ramsautal am Dürrenberg bei Hallein. In: T. STÖLLNER, K. OEGGL (Hrsg.), *Bergauf Bergab: 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen*. VML Verlag Marie Leidorf, Bochum 2015, 351-356.

LÖCKER 2008

K. LÖCKER, Wege der Forschung: Dokumentation der Funde. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), *Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt*. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 204-205.

MA ET AL. 2016

Y. MA, Y. GUO, J. ZHAO, M. LU, J. ZHANG, J. WAN, Fast and Accurate Registration of Structured Point Clouds with Small Overlaps. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Las Vegas, NV, 2016, 643-651.

MAHR 1914

A. MAHR, Die prähistorischen Sammlungen des Museums zu Hallstatt. In: *WIENER PRÄHISTORISCHEN GESELLSCHAFT* (Hrsg.), *Materialien zur Urgeschichte Österreichs*. 1. Serie, 1. Heft, Wien 1914, 55-56.

MAHR 1925

A. MAHR, Das vorgeschichtliche Hallstatt: Zugleich Führer durch die Hallstattsammlung des Naturhistorischen Museums in Wien. *Veröffentlichungen des Vereines der Freunde des Naturhistorischen Museums*, Heft 8-12, Wien 1925, 3-67.

MANN ET AL. 2018

S. MANN, T. FURNESS, Y. YUAN, J. IORIO, Z. WANG, All Reality: Virtual, Augmented, Mixed (X), Mediated (X,Y), and Multimediated Reality. Eprint arXiv:1804.08386, 2018, 1-2.

MILGRAM ET AL. 1994

P. MILGRAM, H. TAKEMURA, A. UTSUMI, F. KISHINO, Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *SPIE Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 1994.

MIRON 1991

A. MIRON, Die späte Eisenzeit im Hunsrück-Nahe-Raum. Mittel- und spätlatènezeitliche Gräberfelder. In: A. HAFFNER, A. MIRON (Hrsg.), Studien zur Eisenzeit im Hunsrück-Nahe-Raum. Symposium Birkenfeld 1987. Trierer Zeitschr. Beih. 13, Trier 1991, 151–169.

MIRON 1998

A. MIRON, Die babylonische Verwirrung. Überlegungen zur Terminologie der Spätlatène-Chronologie. In: A. MÜLLER-KARPE ET AL. (Hrsg.), Studien zur Archäologie der Kelten, Römer und Germanen in Mittel- und Westeuropa. Alfred Haffner zum 60. Geburtstag gewidmet. Internat. Arch., Studia honoraria 4, Rahden/Westfalen 1998, 429–438.

MORTON 1937

F. MORTON, Unterhaltung und Wissen: Die Dammwiesengrabung des Hallstätter Museum. Zeitungsartikel aus unbekannter Quelle, vermutlich Sparkassenzeitung, Archiv Nr. 12296S, Hallstatt 1936-1937, 7-12.

MORTON 1939

F. MORTON, Hallstatt: Ein Führer durch die Sammlungen des hallstätter Museums mit einem Rückblick auf die viertausendjährige Kultur des berühmten Bergmannsortes.

Verlag des Musealvereines, Zweite Auflage, Hallstatt 1939, 5-48.

MORTON 1950

F. MORTON, Hallstatt: Ein Gang durch die Sammlungen des hallstätter Museums mit einem Rückblick auf die viertausendjährige Kultur des berühmten Bergmannsortes.

Verlag des Musealvereines, Dritte Auflage, Hallstatt 1950, 5-32.

MORTON 1953

F. MORTON, Hallstatt und die Hallstattzeit: Viertausend Jahre Salzkultur.

Verlag des Musealvereines, Hallstatt 1953, 99-103.

MORTON 1956

F. MORTON, Salzkammergut: Die Vorgeschichte einer berühmten Landschaft.

Verlag des Musealvereines, Hallstatt 1956, 9-165.

MORTON 1958

F. MORTON, Spätlatènekeramik aus Hallstatt, Oberösterreich. Arch. Austriaca 24, Wien 1958, 35-38.

MOSER 2008

S. MOSER, Der Dürrenberg: Vom Leben und Sterben der Bergleute. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 170-173.

NAGAR, VERMA 2015

S. NAGAR, J. VERMA, Distance Measurement Using Stereo Vision. In: International Journal of Electrical And Electronics Engineers, Volume 07, Issue 01, Indien 2015.

NEUBAUER 2008

W. NEUBAUER, Wege der Forschung: Hohlraumvermessung im Berg - eine technische Herausforderung. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 208-209.

OTEPKA ET AL. 2013

J. OTEPKA, S. GHUFFAR, C. WALDHAUSER, R. HOCHREITER, N. PFEIFER, Georeferenced Point Clouds: A Survey of Features and Point Cloud Management. SPRS Int. J. Geo-Inf., 2(4), 2013, 1038-1065.

PÖLL 2014

J. PÖLL, Das rätische Haus am Stuemeraareal in Fließ. In: W. STEFAN (Hrsg.), Prähistorische Häuser im Tiroler Oberland. Begleitheft zum 4. Archäologischen Symposium Fließ. Schr. Museum Fliess 4, Fließ 2014, 44–71.

PUCHER 1999

E. PUCHER, Archäozoologische Untersuchungen am Tierknochenmaterial der keltischen Gewerbesiedlung im Ramsautal auf dem Dürrnberg (Salzburg). Dürrnberg-Forschungen 2, Rahden 1999, 17–111.

RAGGER 2019

T. RAGGER, GIS-gestützte Kartierungen von Bergbauspuren am Hallstätter Salzberg. Unpublizierte Diplomarbeit, Universität Wien 2019.

RAHAMAN & CHAMPION 2019

H. RAHAMAN, E. CHAMPION, To 3D or Not 3D: Choosing a Photogrammetry Workflow for Cultural Heritage Groups. Heritage 2019, 2, Basel 2019, 1835-1851.

RAMSL 1998

P. C. RAMSL, Inzersdorf-Walpersdorf. Studien zur Späthallstatt-/Latènezeitlichen Besiedlung im Traisental, Niederösterreich, Fundberichte aus Österreich, Materialheft A6, BDA Österreich.

RAUSCH 2007

A. W. RAUSCH, Viele Fotos, wenig Platz - Das große Puzzle von Hallstatt. Fotografische Dokumentation unter Tage. In: R. KARL, J. LESKOVAR, Interpretierte Eisenzeiten. Fallstudien, Methoden, Theorie. Tagungsbeiträge der 2. Linzer Gespräche zu interpretativen Eisenzeitarchäologie. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich 19, Linz, 109-118.

RAUSCH 2008

A. W. RAUSCH, Wege der Forschung: Fotografische Dokumentation unter Tage. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 206-207.

REES 2014

A. REES, Archäologische Topographie zur Eisenzeit in Nordtirol. Unpublizierte Bakkalaureatsarbeit, Universität Innsbruck 2014, 54.

REMONDINO, RIZZI 2010

F. REMONDINO, A. RIZZI, Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritages sites – techniques, problems, and examples. Applied Geomatics 2 (3). Springer-Verlag, New York 2010, 85–100.

REMONDINO ET AL. 2012

F. REMONDINO, S. DEL PIZZO, T. P. KERSTEN, S. TROISI Low-Cost and Open-Source Solutions for Automated Image Orientation – A Critical Overview. In: M. IOANNIDES, D. FRITSCH, J. LEISSNER, R. DAVIES, F. REMONDINO, R. CAFFO (eds), Progress in Cultural Heritage Preservation. EuroMed 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7616. Springer, Berlin, Heidelberg 2012.

RESCHREITER & BARTH 2005

H. RESCHREITER, F. E. BARTH, Neufund einer bronzzeitlichen Holzstiege im Salzbergwerk Hallstatt. Arch. Österreichs 16/1, Wien 2005, 27-32.

RESCHREITER & KOWARIK 2008a

H. RESCHREITER, K. KOWARIK, Bronzezeit - der Aufschwung: Der Salzbergbau beginnt. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 48-81.

RESCHREITER & KOWARIK 2008b

H. RESCHREITER, K. KOWARIK, Jüngere Eisenzeit - der Neuanfang: Die Dammwiese. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 160-165.

RESCHREITER & KOWARIK 2015

H. RESCHREITER, K. KOWARIK, Die prähistorischen Salzbergwerke von Hallstatt. In: T. STÖLLNER, K. OEGGL (Hrsg.), Bergauf Bergab: 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. VML Verlag Marie Leidorf, Bochum 2015, 289-296.

RIECKHOFF 1992

S. RIECKHOFF, Überlegungen zur Chronologie der Spätlatènezeit im südlichen Mitteleuropa. Bayerische Vorgeschichtsblätter 57, 1992, 103–121.

RIECKHOFF 1995

S. RIECKHOFF, Süddeutschland im Spannungsfeld von Kelten, Germanen und Römern. Trierer Zeitschr. Beih. 19, Trier 1995.

RIECKHOFF 2007

S. RIECKHOFF, Wo sind sie geblieben? Zur archäologischen Evidenz der Kelten in Süddeutschland im 1. Jahrhundert v. Chr. In: H. BIRKHAN (Hrsg.), Kelten-Einfälle an der Donau. Akten des Vierten Symposiums deutschsprachiger Keltologinnen und Keltologen. Philologische – Historische – Archäologische Evidenzen (Linz/Donau, 17.-21. Juli 2005), Wien 2007, 409–440.

RIECKHOFF 2018

S. RIECKHOFF, Wissen und Macht im archäologischen Diskurs: Die Chronologie der Oppidazeit. Archäologische Informationen 41, 2018, 173-198.

ROGGER 2016

B. ROGGER, Museumszukünfte: Wir haben die Wahl, Denkanstöße des VMS 2016, Verband der Museen der Schweiz, 2016.

ROHN ET AL. 2005

J. ROHN, D. EHRET, M. MOSER, K. CZURDA, Prehistoric and recent mass movements of the World Cultural Heritage Site Hallstatt, Austria. Environmental Geology 47 (5), Springer Verlag, New York 2005, 702-714.

RUA, ALVITO 2011

H. RUA, P. ALVITO, Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage - the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria. Journal of Archaeological Science 38, Elsevier Niederlande 2011, 3296-3308.

RUDOLPH 1931

K. RUDOLPH, Paläofloristische Untersuchung des Torflagers auf der „Dammwiese“ bei Hallstatt. Sitzungsberichte d. mathem.-naturw. Kl., Abt. I, 140. Bd., 5. u. 6. Heft, Prag 1931, 338-345.

RUSS-POPA 2011

G. RUSS-POPA, Die Haut-, Leder- und Fellfunde aus dem ältereisenzeitlichen Kernverwässerungswerk im Salzbergwerk von Hallstatt, OÖ – eine archäologische und gerbereitechnische Aufnahme. Diplomarbeit, Universität Wien 2011.

SCHATTNER, RUIPÉREZ 2019

T. G. SCHATTNER, H. RUIPÉREZ, Das Projekt einer 3D-Rekonstruktion von Munigua: Villanueva del Río y Minas bei Sevilla in Spanien. In: Auferstehung der Antike: Archäologische Stätten digital rekonstruiert. Wbg wissenschaftliche Buchgesellschaft, Philipp von Zabern Verlag, Darmstadt 2019, 72-73.

SCHAUBERGER 1960

O. SCHAUBERGER, Ein Rekonstruktionsversuch der prähistorischen Grubenbaue im Hallstätter Salzberg. In: ANTHROPOLOGISCHE GESELLSCHAFT IN WIEN (Hrsg.), Prähistorische Forschungen, Heft 5, Wien 1960, 4-15.

SCHNEIDHOFER 2011

P. SCHNEIDHOFER, Site formation processes in the prehistoric salt mine of Hallstatt, Austria. A geoarchaeological multi-method approach. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Reading 2011.

SCHÖNEBERGER 1952

H. SCHÖNEBERGER, Die Spätlatènezeit in der Wetterau. Saalburg-Jahrbuch 11, Hessen 1952, 21-130.

SCHREYER 1994

ST. SCHREYER, Latènezeitliche Siedlungsfunde aus Rheinau-Franzosenacker. Archäologie im Kanton Zürich, Bericht Zürcher Denkmalpflege 12, 1987-1992, Zürich 1994, 104-139.

SEVARA ET AL. 2017

C. SEVARA, G. VERHOEVEN, M. DONEUS, E. DRAGANITS, Surfaces from the Visual Past: Recovering High-Resolution Terrain Data from Historic Aerial Imagery for Multitemporal Landscape Analysis. Journal of Archaeological Method and Theory, Volume 25, Issue 2, Springer-Verlag, New York 2017, 611-642.

STANCO ET AL. 2016

F. STANCO, D. TANASI, D. ALLEGRA, F. L. M. MILOTTA, 3D Digital Imaging for Knowledge Dissemination of Greek Archaic Statuary. In: GIOVANNI PINTORE AND FILIPPO STANCO (eds.), STAG: Smart Tools and Apps in computer Graphics, The Eurographics Association, MDPI Switzerland 2016, 136-137.

STEINER 2012

S. STEINER, Zur Keramikherstellung in der Spätlatènezeit, neue Forschungsansätze anhand von Funden aus Basel-Gasfabrik, Schweiz. In: A. KERN ET AL. (Hsg.): Technologieentwicklung und Transfer in der Hallstatt- und Latènezeit, Beiträge zur internationalen Tagung der AG Eisenzeit und des Naturhistorischen Museums Wien, Prähistorische Abteilung-Hallstatt 2009, Beiträge zur UFG Mitteleuropas 65, Langenweissbach 2012, 145-148.

STÖLLNER 1999

T. STÖLLNER, Der prähistorische Salzbergbau am Dürrnberg bei Hallein I: Forschungsgeschichte -Forschungsstand - Forschungsanliegen. Mit Beiträgen von C. Dobiak, A. Schäfer u. J. F. Schatteiner, Dürrnberg-Forschungen 1, Rahden 1999.

STÖLLNER 2007

T. STÖLLNER, Siedlungsdynamik und Salzgewinnung im östlichen Oberbayern und in Westösterreich während der Eisenzeit. In: A. HUBER, J. PRAMMER, R.

- SANDER, C. TAPPERT (Hrsg.), Siedlungsdynamik und Gesellschaft: Beiträge des internationalen Kolloquiums zur keltischen Besiedlungsgeschichte im bayerischen Donaauraum, Österreich und der Tschechischen Republik. Jahresbericht des historischen Vereins Straubing und Umgebung, Sonderband 3, Straubing 2007, 313-362.
- STÖLLNER 2008
T. STÖLLNER, Der Dürrenberg: Ein mächtiger Konkurrent. In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008, 166-169.
- STÖLLNER 2015
T. STÖLLNER, Der Dürrenberg bei Hallein als Kultur- und Wirtschaftsraum. In: T. STÖLLNER, K. OEGGL (Hrsg.), Bergauf Bergab: 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. VML Verlag Marie Leidorf, Bochum 2015, 325-334.
- STÖLLNER ET AL. 2015
T. STÖLLNER, K. OEGGL (Hrsg.), Bergauf Bergab: 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. VML Verlag Marie Leidorf, Bochum 2015.
- STROH 1944
F. STROH, Neue latènezeitliche Funde in Oberdonau. In: Jahrbuch des Vereines für Landeskunde und Heimatpflege im Gau Oberdonau: (früher Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereins), 91.Band, Linz 1944, 353-365.
- SUKHLA 2015
N. SUKHLA, A Review on Image Based Target Distance and Height Estimation Technique Using Laser Pointer And Single Video Camera For Robot Vision. In: International Journal of Engineering Research And Reviews, Vol. 3, Issue 1, Indien 2015.
- SZELISKI 2010
R. SZELISKI, Computer Vision: Algorithms and Applications, 1st ed. Springer-Verlag, New York 2010.
- TANASI ET AL. 2019
D. TANASI, I. GRADANTE, S. HASSAM, Best Practices for 3D Digital Recording and Global Sharing of Catacombs from Late Roman Sicily. Studies in Digital Heritage SDH, Vol. 3, No. 1, USA 2019, 60-82.
- TREBSCHKE 2010
P. TREBSCHKE, Untersuchungen zu Reichweite und Bedeutung von Kontakten in der Spätlatènezeit anhand der Feinkammstrich-Keramik. In: E. JEREM, M. SCHÖNFELDER, G. WIELAND (Hrsg.), Nord-Süd, Ost-West: Kontakte während der Eisenzeit in Europa, Akten der Internationalen Tagungen der AG Eisenzeit in Hamburg und Sopron 2002, Budapest 2010, 333-348.

TREBSCHKE UND FICHTL 2017

P. TREBSCHKE UND S. FICHTL, Projekt „Keltische Siedlungszentren in Ostösterreich“. Bericht über die Ausgrabung 2016 in Haselbach, Donau-Universität Krems, Université de Strasbourg, Asparn an der Zaya und Strasbourg 2017, 2-20.

TURRI 2018

D. TURRI, Birgitz-hohe Birga (Bez. Innsbruck-Land/A). In: M. KIRCHMAYR ET AL., Manuskript. Eisenzeitliche Siedlungen in Nordtirol, AG 644105 Wirtschaft, Staat, Gesellschaft. Institut für Archäologien, Universität Innsbruck, WS2017/2018, 31-35.

VAN DAMME 2015

T. VAN DAMME, Computer Vision Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording: A Critical Assessment. Diplomarbeit, University of Southern Denmark 2015.

VERHOEVEN 2011

G. VERHOEVEN, Taking Computer Vision Aloft-Archaeological Three-dimensional Reconstruction from Aerial Photographs with PhotoScan. Archaeological Prospections, 18 (1), USA 2011, 67-73.

VERHOEVEN 2016

G. VERHOEVEN, Mesh Is More—Using All Geometric Dimensions for the Archaeological Analysis and Interpretative Mapping of 3D Surfaces, Springer Science + Business Media, New York 2016.

WALDHART 2018

E. WALDHART, Lokale Geländebeschaffenheit - Typen der Siedlungstopographie. In: M. KIRCHMAYR ET AL., Manuskript. Eisenzeitliche Siedlungen in Nordtirol, AG 644105 Wirtschaft, Staat, Gesellschaft. Institut für Archäologien, Universität Innsbruck, WS2017/2018, 9-14.

WALLNER 2018

J. WALLNER, Fließ-alte Volksschule (Bez. Landeck/A). In: M. KIRCHMAYR ET AL., Manuskript. Eisenzeitliche Siedlungen in Nordtirol, AG 644105 Wirtschaft, Staat, Gesellschaft. Institut für Archäologien, Universität Innsbruck, WS2017/2018, 41-45.

WENDLING 2016

H. WENDLING, Dürrnbergforschung. Jahrbuch Dürrnbergforschung 2016, Dürrnberg-Salzburg, 148-149.

WERNECK 1928

H. L. WERNECK, Die naturgesetzlichen Grundlagen der Land- und Forstwirtschaft in Oberösterreich: Versuch zu einer Pflanzengeographie und Ökologie. Linz 1928.

WESSLING ET AL. 2014

R. WESSLING, J. MAURER, A. KRENN-LEEB, Structure from Motion for Systematic Single Surface Documentation of Archaeological Excavations. CHNT 18, International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2013, Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie, Wien 2014, 1-13.

WESTOBY ET AL. 2012

M. J. WESTOBY, J. BRASINGTON, N. F. GLASSER, M. J. HAMBREY, J. M. REYNOLDS, 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179, Elsevier Niederlande 2012, 1-13.

WOHLFROMM 2002

A. WOHLFROMM (Hrsg.), *Museum als Medium - Neue Medien in Museen: Überlegungen zu Strategien kultureller Repräsentation und ihre Beeinflussung durch digitale Medien*, Köln 2002.

ZEILER 2013

M. ZEILER, Briquetagen und Keramik der eisenzeitlichen Saline in Werl. Kreis Soest, Regierungsbezirk Arnsberg. In: *LWL-ARCHÄOLOGIE FÜR WESTFALEN UND DER ALTERTUMSKOMMISSION FÜR WESTFALEN* (Hrsg), *Archäologie in Westfalen-Lippe* 2013. Ausgrabungen und Funde, Eisenzeit, Langenweißbach 2014, 73-76.

ZELLER 1984

K. ZELLER, Latènezeitliche Gewerbebetriebe auf dem Dürrnberg bei Hallein. In: *VERÖFFENTLICHUNG DES VORGESCHICHTLICHEN SEMINARS MARBURG* (Hrsg), *Studien zu Siedlungsfragen de Latènezeit. Sonderband 3*, Marburg 1984, 199-214.

ZHI ENG 2015

L. ZHI ENG, *Building a Game with Unity and Blender*. Packt Publishing, Birmingham 2015, 16.

5.2.4 Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner anderen Stelle vorgelegt.

Ich weise nochmal explizit darauf hin, dass die vorliegende Arbeit in Kooperation mit dem NHM Wien, dem Museum Hallstatt und den Salinen Austria AG entstanden ist.

Die zu Grunde liegenden Pläne und Rohdaten, die von der PA des NHM Wien stammen, sind unter Zustimmung der Leitung (A. Kern) für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit freigegeben worden.

Zusätzlich wurde bei den extern genutzten Daten darauf geachtet, schon publizierte zu verwenden.

Bei „vom Autor erstellt“ gekennzeichneten Abbildungen liegt das alleinige Urheberrecht bei ihm.

Alle Daten werden nach Abgabe dieser Arbeit der PA des NHM zur Verfügung gestellt.

Wien, September 2019

5.2.5 Katalog und Tafeln

Tafel 01-17: Erstellt vom Autor 2014 - 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und dem Museum Hallstatt. Die Funde wurden für diese Arbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Fototafel 3D 01 und 02: Erstellt vom Autor 2014 - 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien und dem Museum Hallstatt. Die Funde wurden für diese Arbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

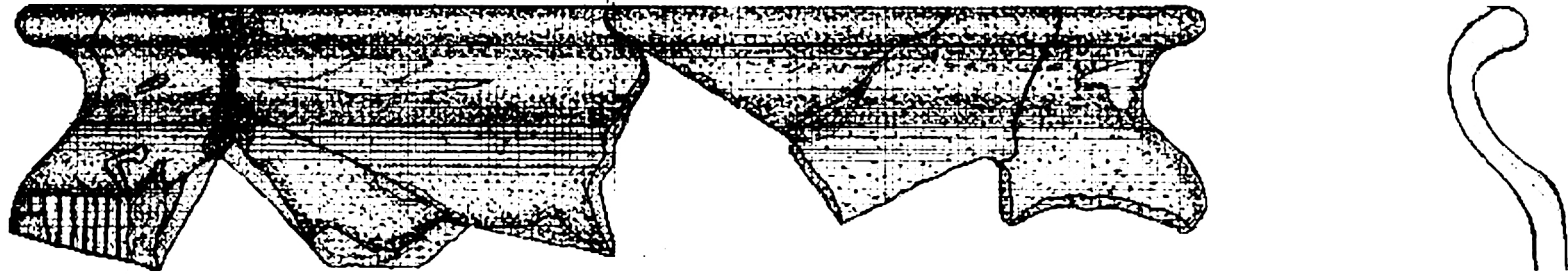
3D Rendering 01 - 10: Erstellt vom Autor 2014 - 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien. Die Funde und Pläne wurden für diese Arbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt. In Kooperation mit der PA des NHM Wien, dem Museum Hallstatt, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016. Sowie dem Land Oberösterreich, DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt

Karten: Erstellt vom Autor 2019. In Kooperation mit der PA des NHM Wien, dem Museum Hallstatt, den ÖBF und den Salinen Austria AG 2014-2016. Sowie dem Land Oberösterreich, DORIS 2019 - Land Oberösterreich, Hallstatt und R. Skomorowski.

Plan Dammwiese: Situation 1887-1888. Quelle: H. Reschreiter, Nr.: 4921 Fundak-
tenarchiv PA NHM Wien, Museum Hallstatt und oberösterreichisches Landesar-
chiv.

In: A. KERN, K. KOWARIK, A. W. RAUSCH, H. RESCHREITER (Hrsg.), Salz-
Reich, 7000 Jahre Hallstatt. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2,
Wien 2008, 163.

Tafel: Keramik - Dammwiese 01

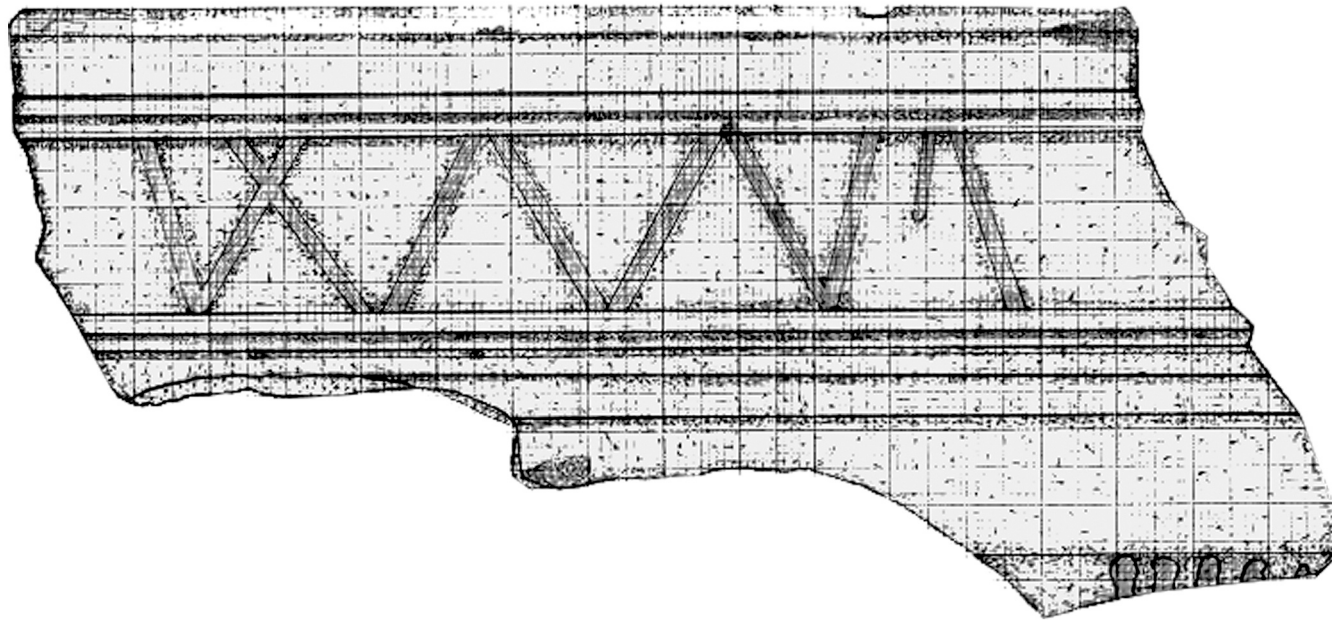


Randfragment eines Topfes, Dammwiese. Inv.Nr.: D2102, D2101, Maßstab: 1:1

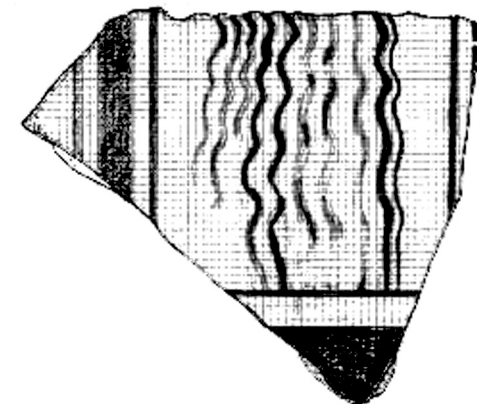
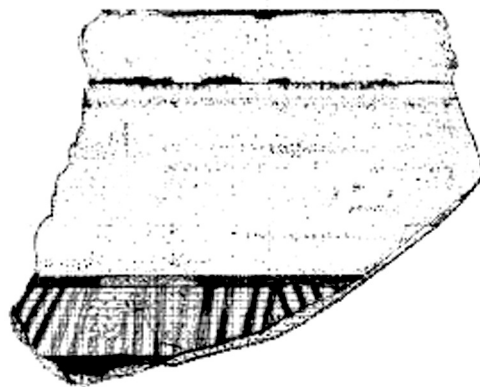


Randfragment Schale, Dammwiese. Inv.Nr.: D2190, Maßstab: 1:1

Tafel: Keramik - Dammwiese 02

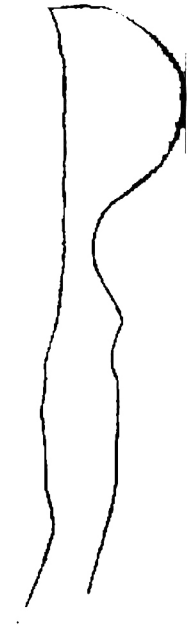
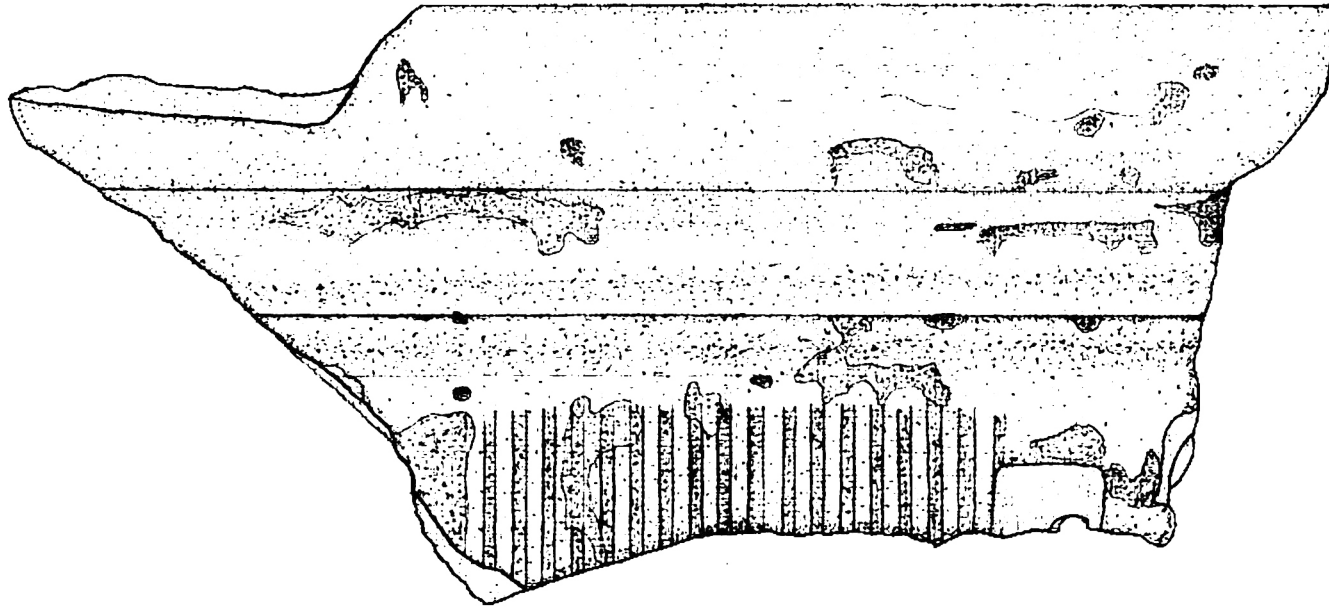


Randfragment eines Topfes, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.385 Maßstab: 1:1

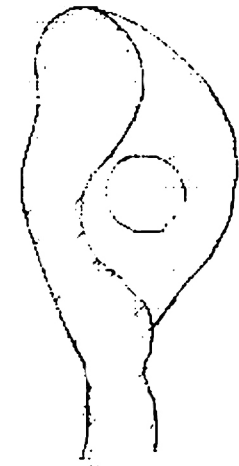
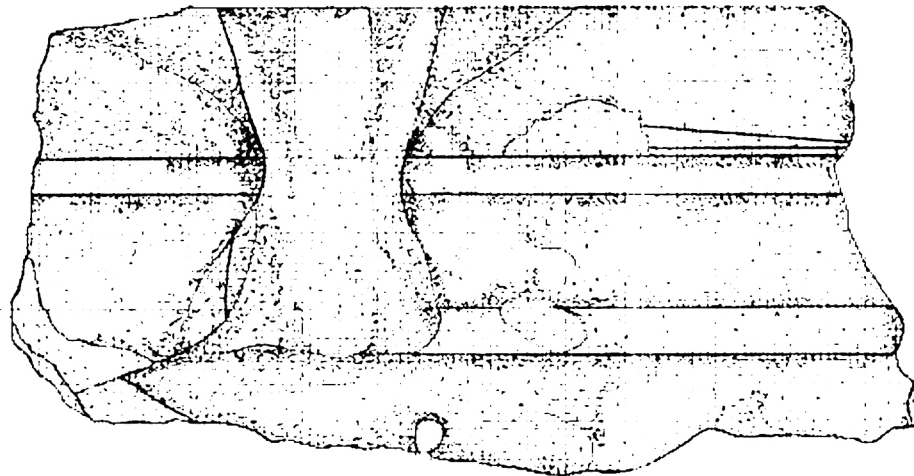


Bemalte Feinkeramik, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.393, Maßstab: 1:1

Tafel: Keramik - Dammwiese 03

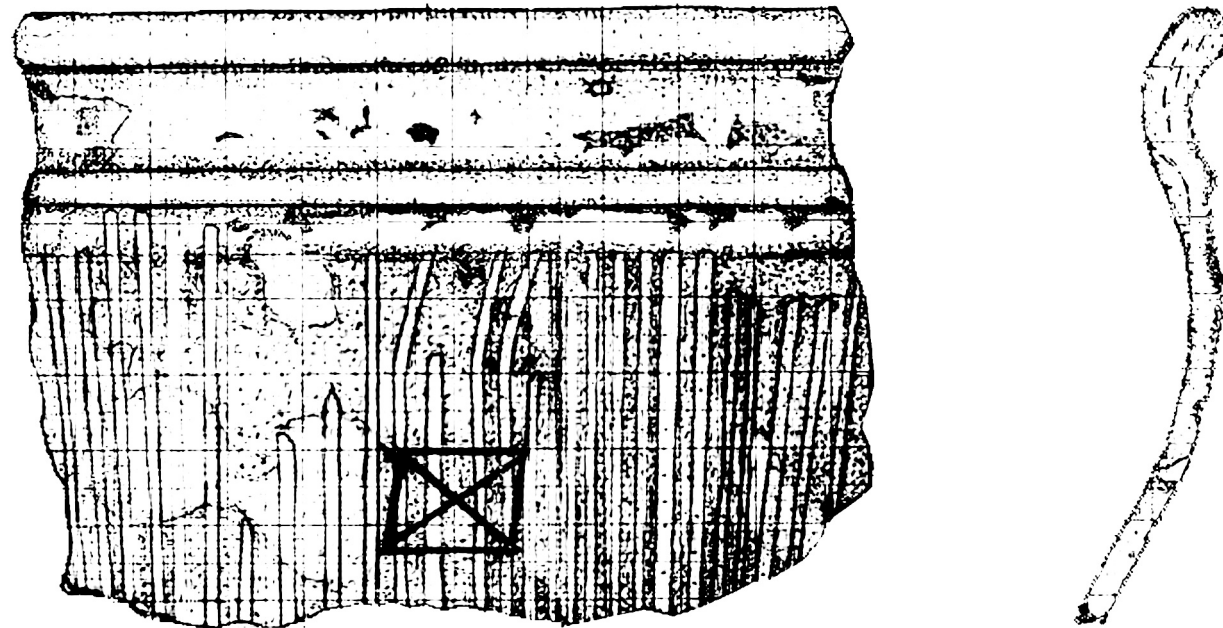


Randfragment, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.370 Maßstab: 1:1

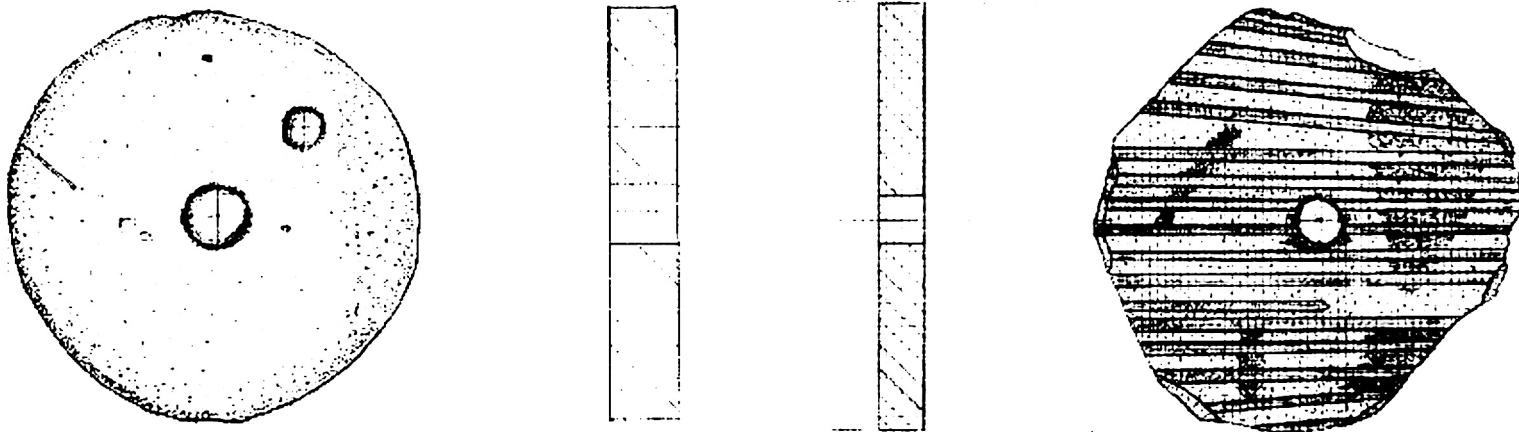


Randfragment mit Lochhenkel, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.384, Maßstab: 1:1

Tafel: Keramik - Dammwiese 04

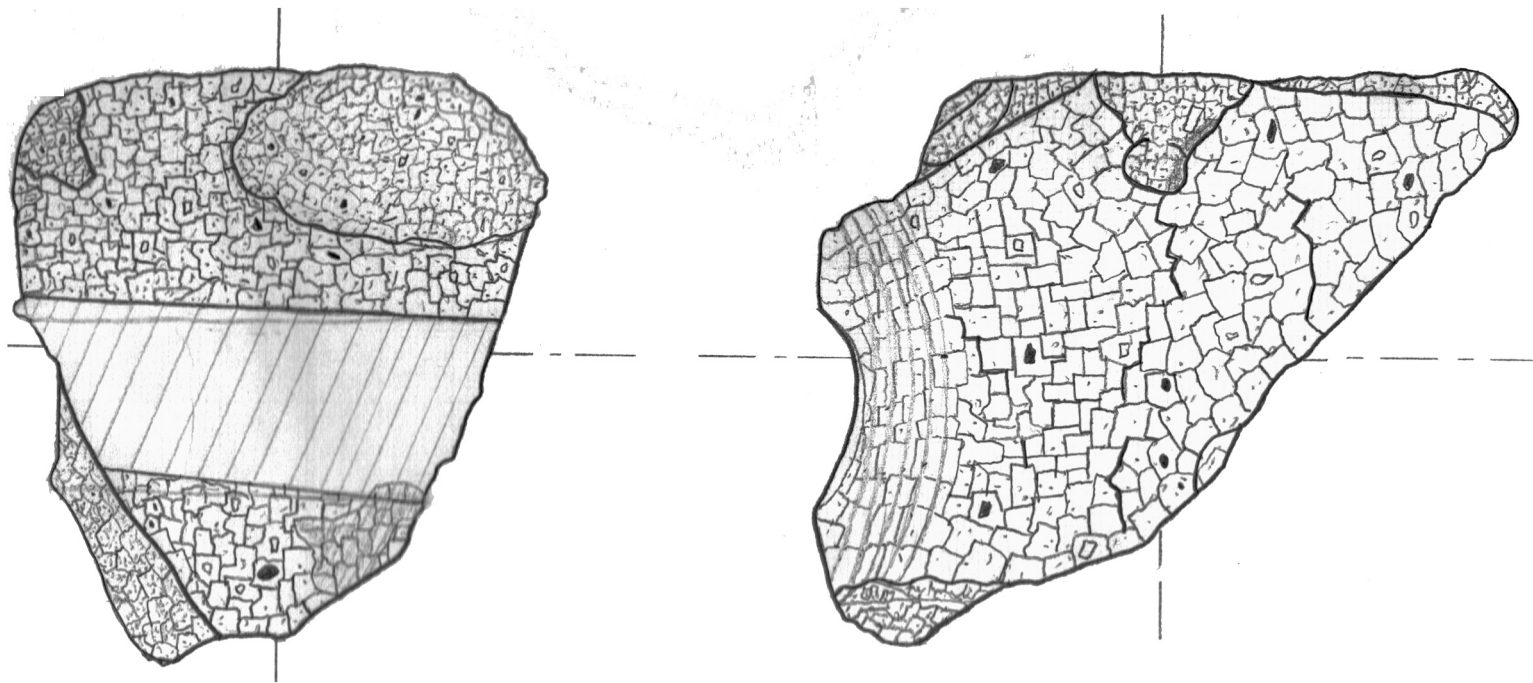


Randfragment mit Rautenritzung, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.398 Maßstab: 1:1

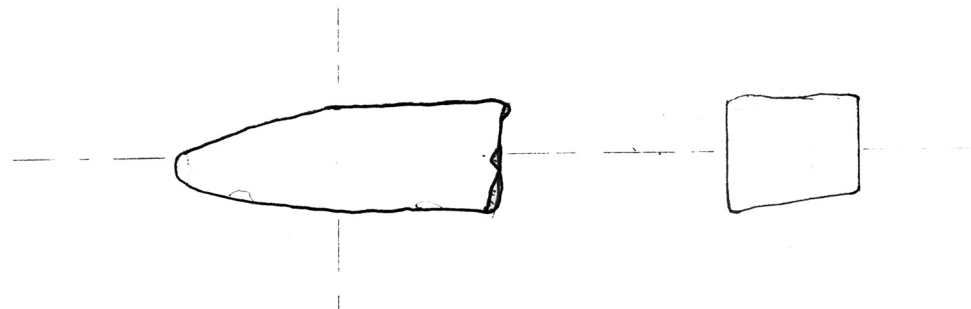


Spinnwirtel aus Keramikfragmenten, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.429, Maßstab: 1:1

Tafel: Steinfunde - Dammwiese 05

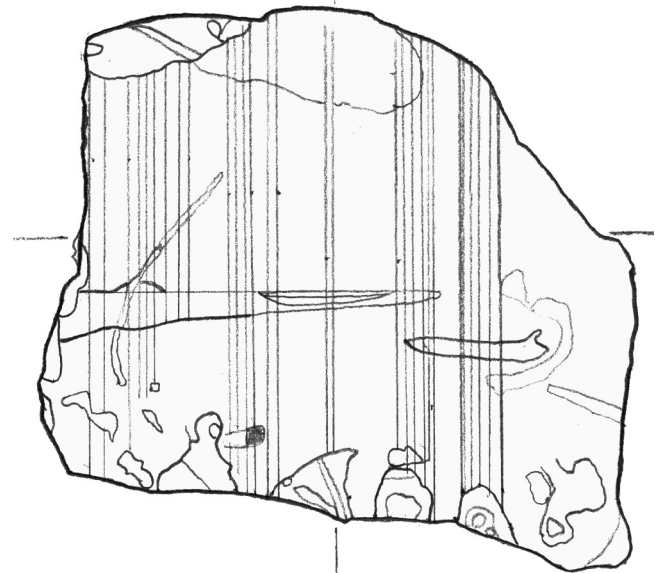
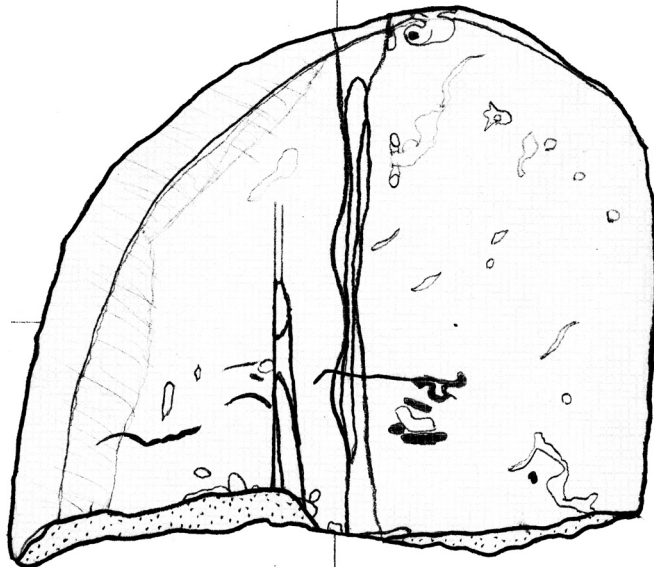
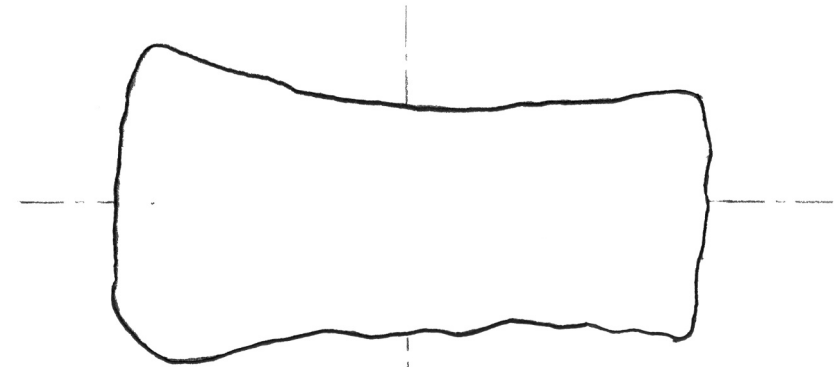
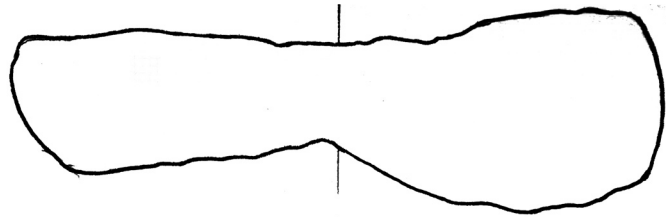


Mahlsteinfragment, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.935 Maßstab: 1:1



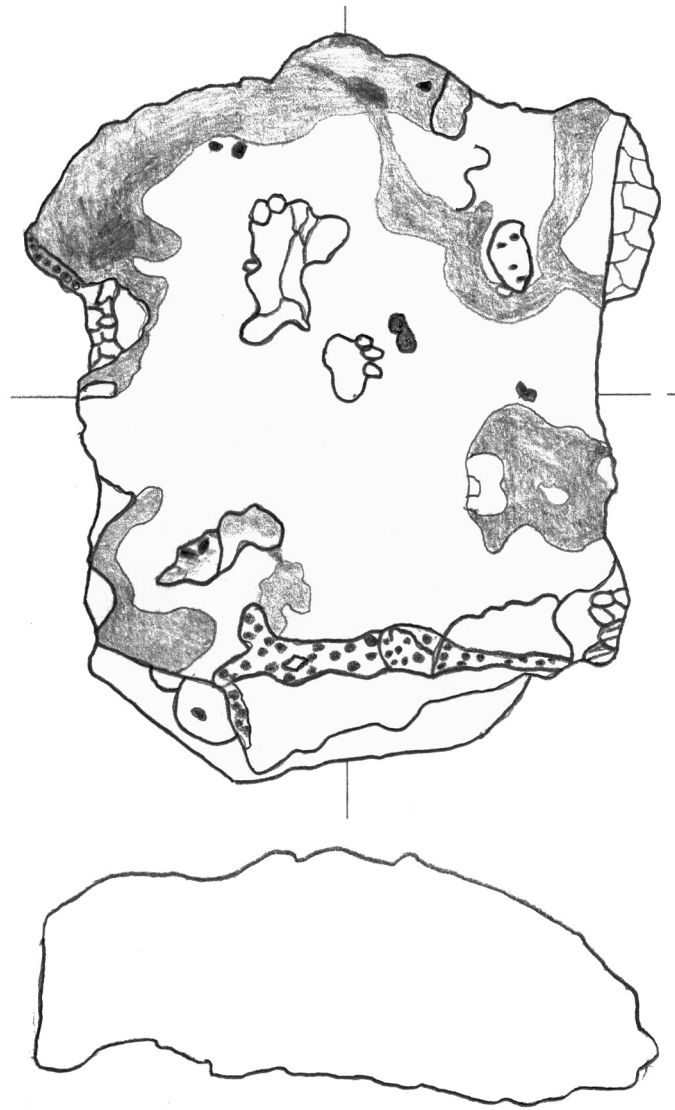
Spitzes Schleifsteinfragment, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.429, Maßstab: 1:1

Tafel: Steinfunde - Dammwiese 06



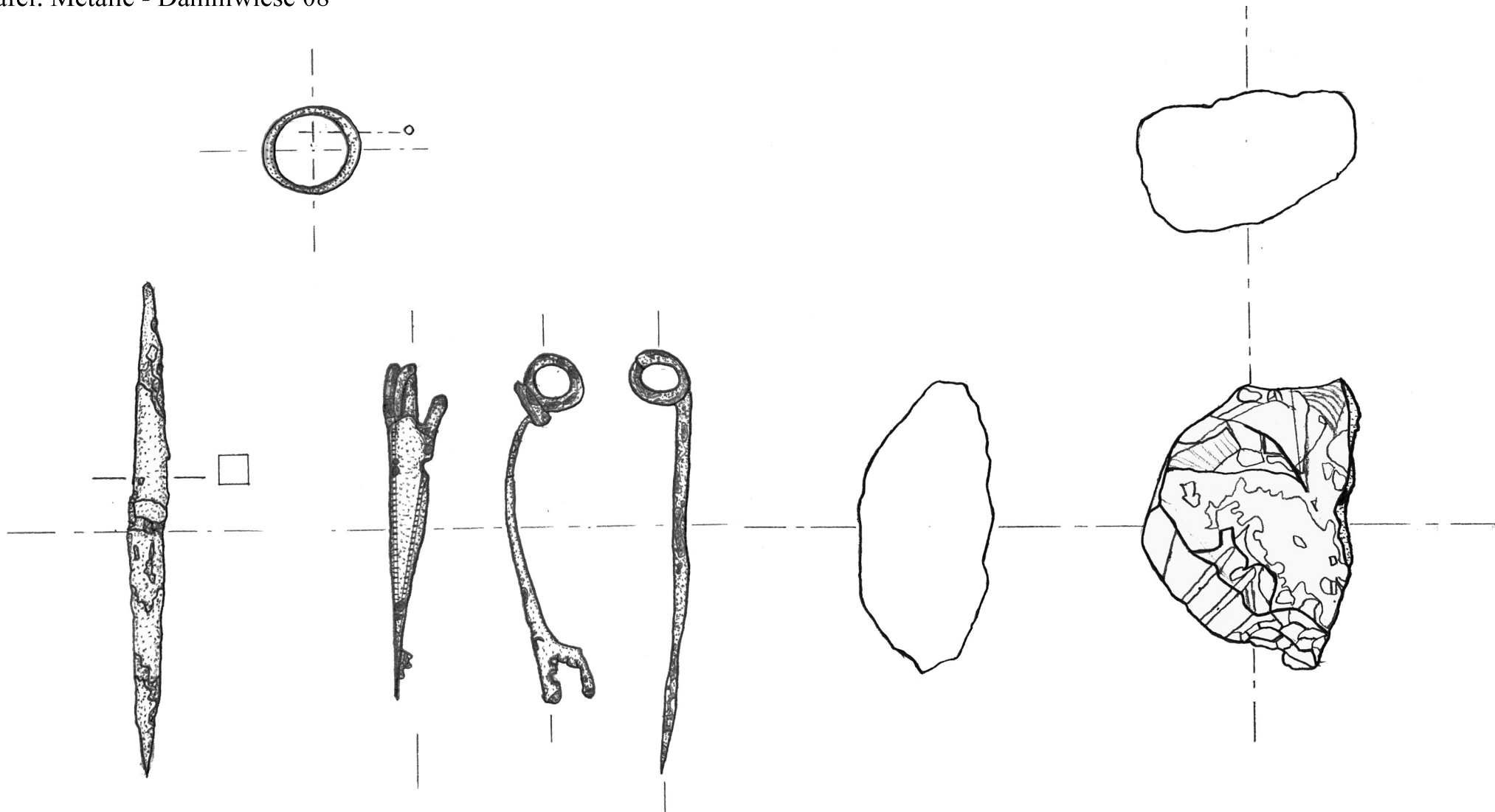
Schleifsteinfragmente, Dammwiese. Inv.Nr.: 81.434, D2218 Maßstab: 1:1

Tafel: Schlacken - Dammwiese 07

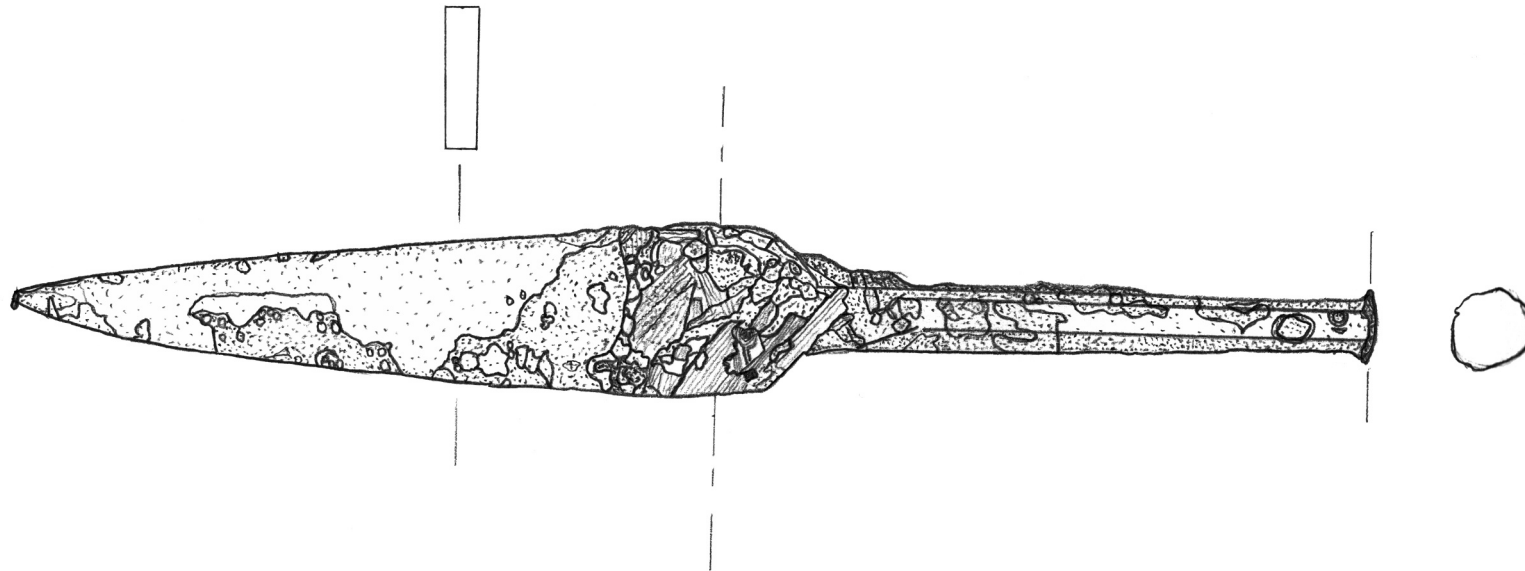


Schlackenfragmente, Dammwiese. Inv.Nr.: D1929, D995 Maßstab: 1:1

Tafel: Metalle - Dammwiese 08

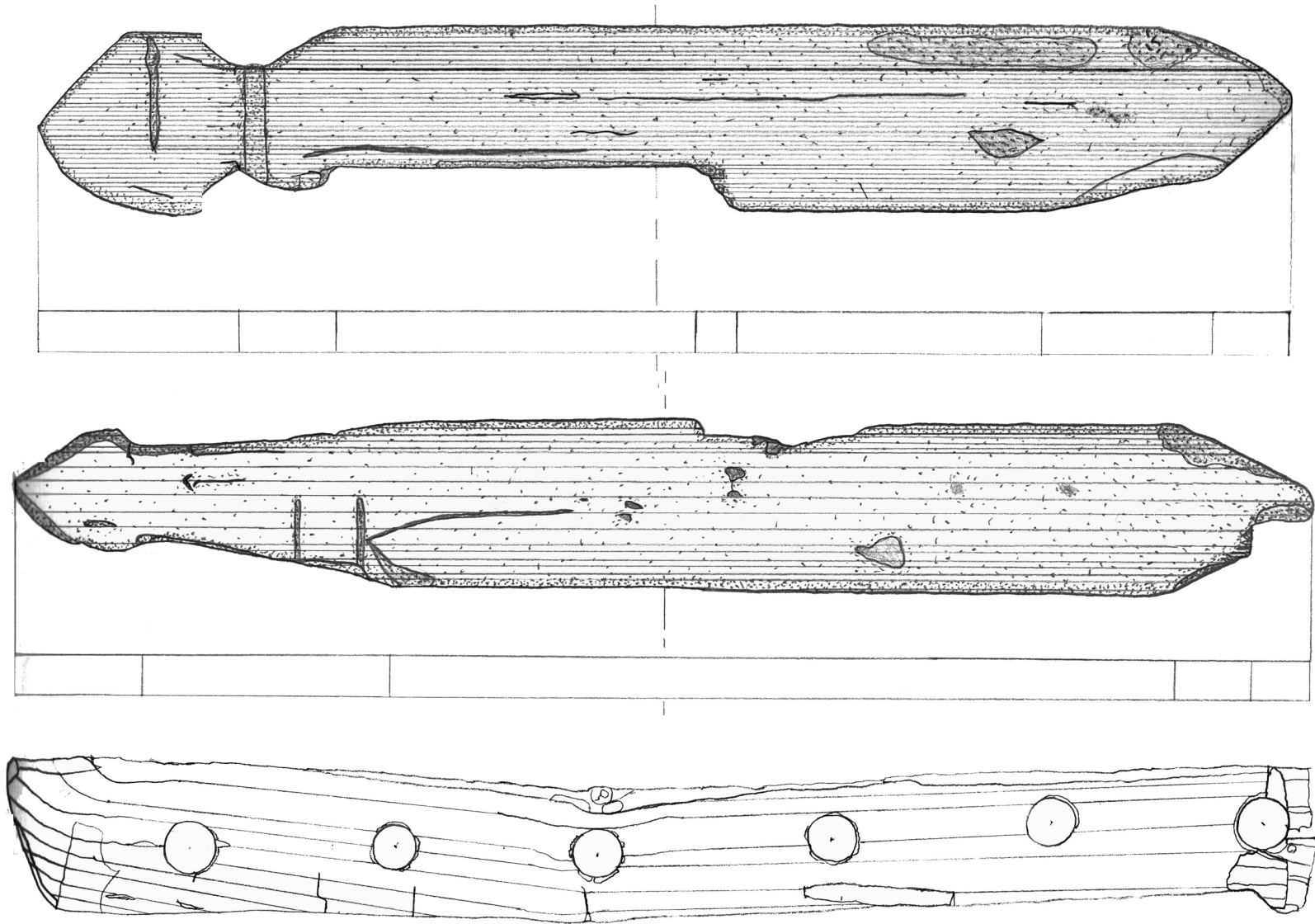


Bronzering, Eisenpfriem, Bronzefibel, Rechts: Limonitfragment Dammwiese.
Inv.Nr.: D1019, D2300, D1602, D1915 Maßstab: 1:1



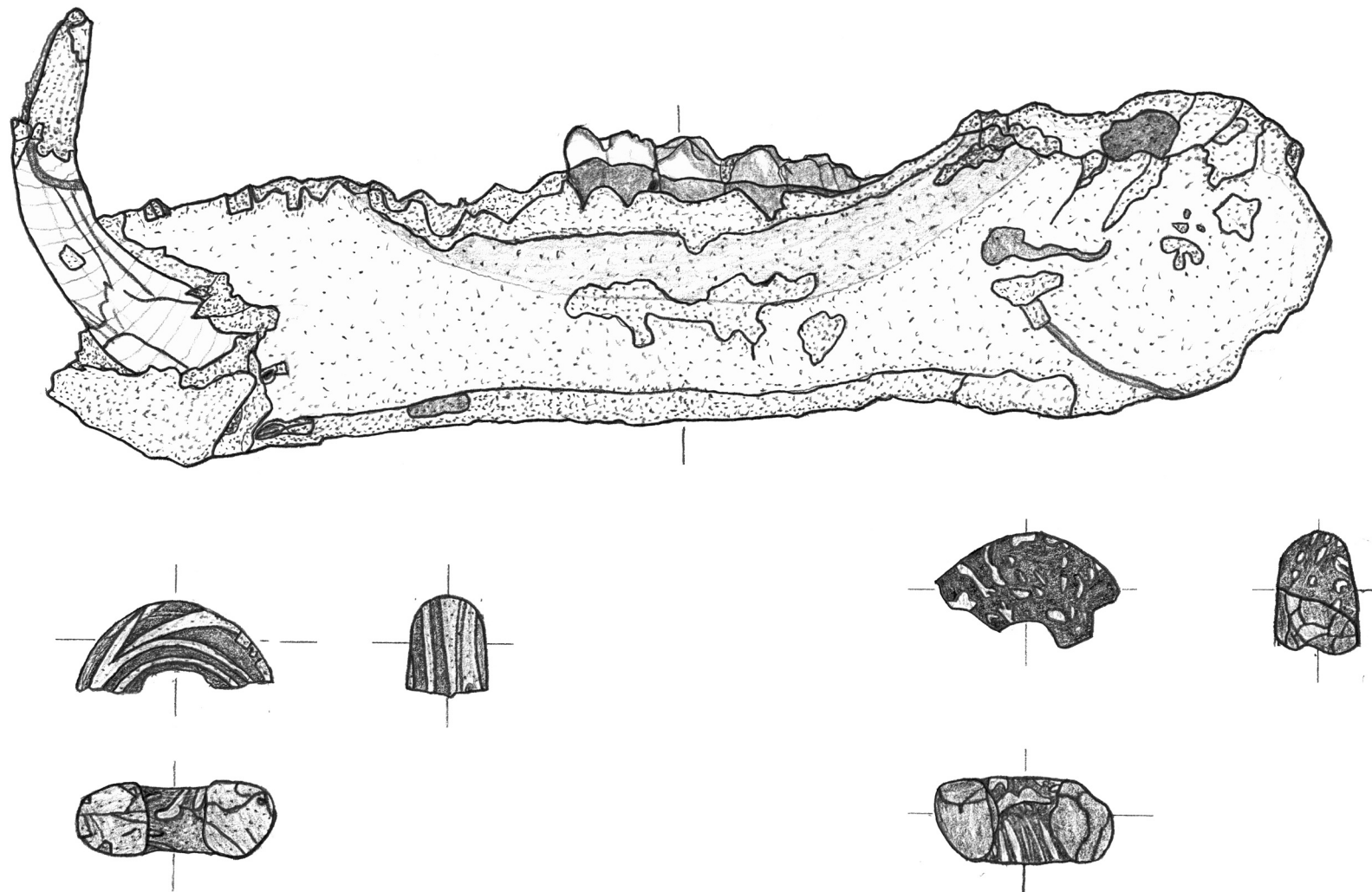
Bronzefriem aus der Bronzezeit Dammwiese. Inv.Nr.: 49387 Maßstab: 1:1

Tafel: Holz - Dammwiese 10



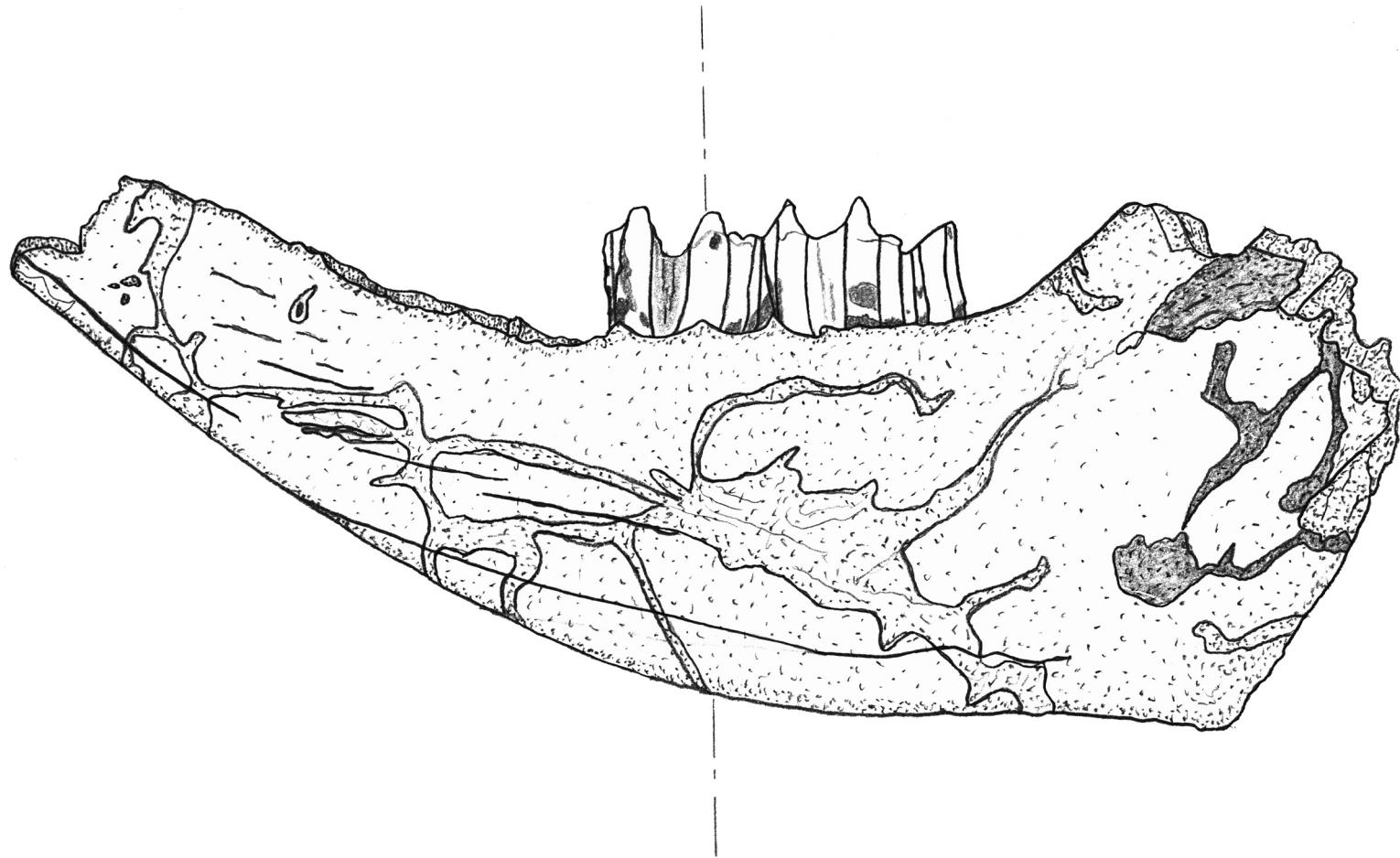
Lanzettförmige Hölzer und rechenartiges Holzfragment Dammwiese.
Inv.Nr.: 81302, 81303, 81.319 Maßstab: 1:1

Tafel: Knochen u. Glas - Dammwiese 11



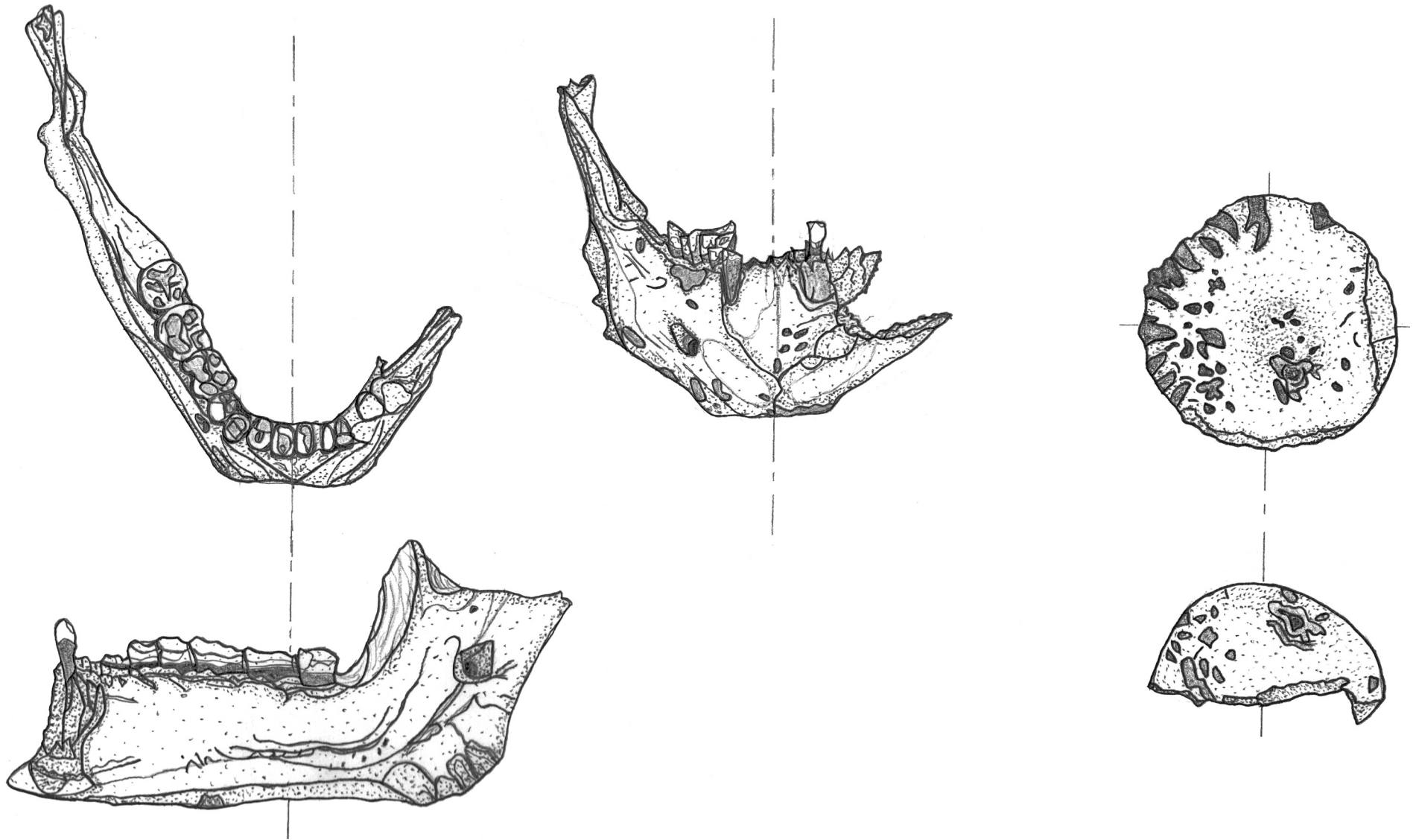
Unterkiefer Eber, Glasperlenfragmente Dammwiese. Inv.Nr.: D1909, 81437 Maßstab: 1:1

Tafel: Knochen - Dammwiese 12



Unterkiefer Rind Dammwiese. Inv.Nr.: D2067, Maßstab: 1:1

Tafel: Knochen - Dammwiese 13



Unterkiefer Mann und Femurkopffragment eines Kinds oder eines Rinds, Dammwiese. Inv.Nr.: 81445, 81446, Maßstab: 1:1

Fototafel: Keramik - Dammwiese 14



Inv.Nr.: 81429, 81398, Maßstab: 1:1

Fototafel: Keramik - Dammwiese 15



Inv.Nr.: 81385, 81393a, 81393b Maßstab: 1:1





Inv.Nr.: D2190 Maßstab: 1:1

Fototafel: 3D Modelle Keramik - Dammwiese



Beispiel 3D Modell Export Inv.Nr.: 81429, 81398, D2190 Maßstab: 1:1

Fototafel: 3D Modelle Keramik - Dammwiese



3D Modelle Ansichten Inv.Nr.: D2102, D2190, 81398, 81384, 81385, 81429

Tafel: 3D Renderings 06



Dammwiese Gefäßrekonstruktion, mit Textur

Tafel: 3D Renderings 07



Dammwiese Bronzefriem, mitTextur

Tafel: 3D Renderings 01



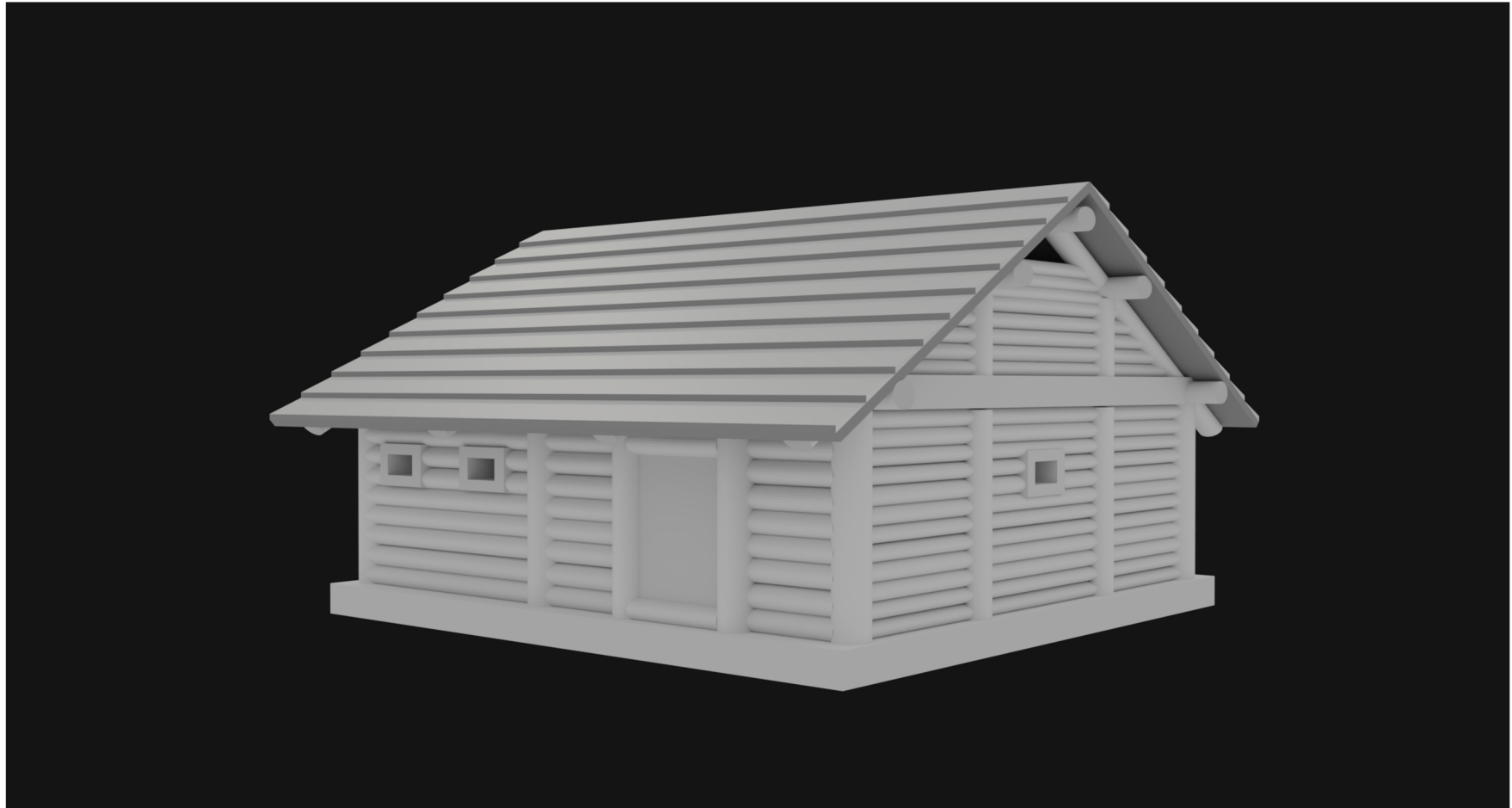
Dammwiese Haustyp 01, ohne Textur

Tafel: 3D Renderings 02



Dammwiese Haustyp 01, mit Textur

Tafel: 3D Renderings 03



Dammwiese Haustyp 02, ohne Textur

Tafel: 3D Renderings 04



Dammwiese Haustyp 02, mitTextur

Tafel: 3D Renderings 05



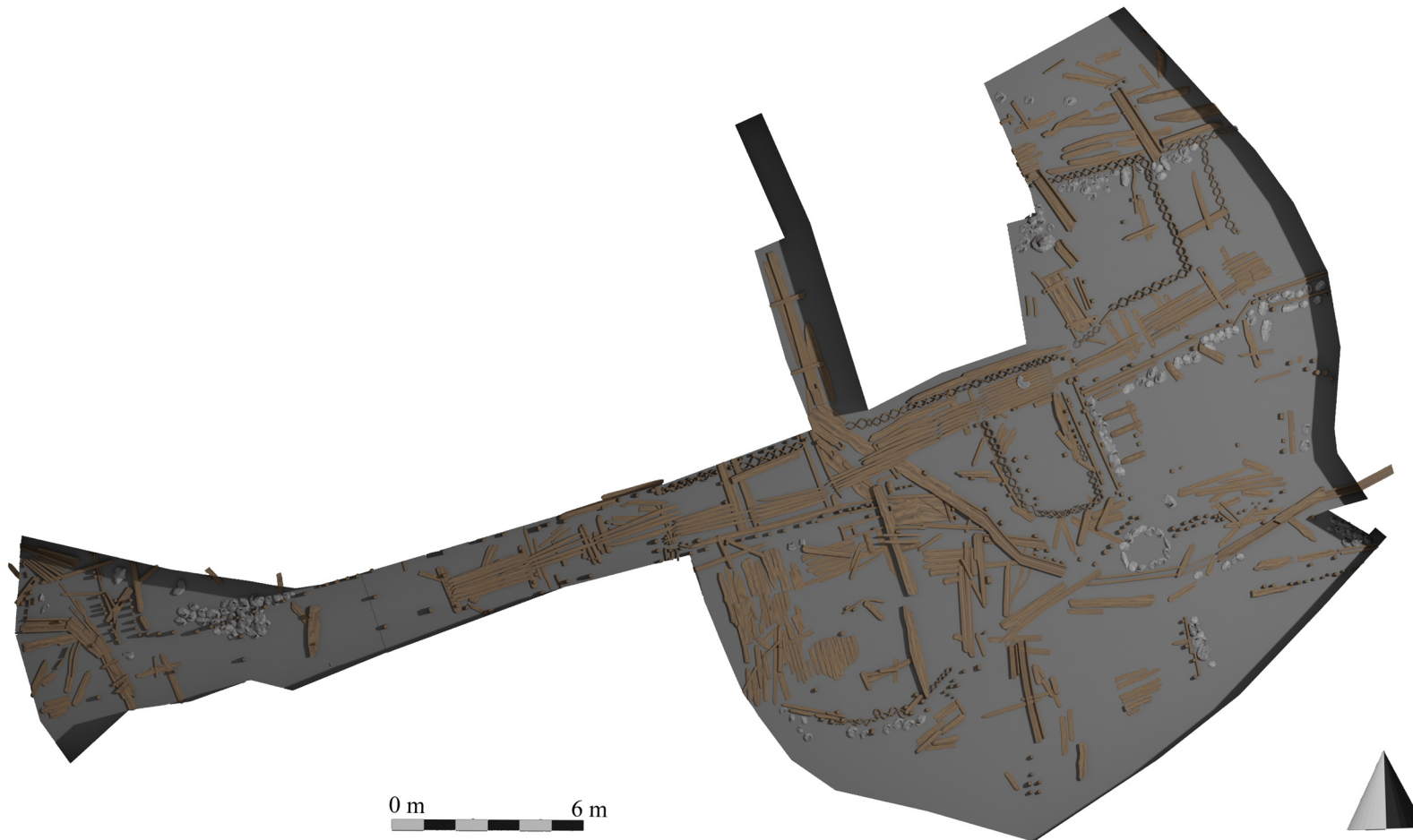
Dammwiese Stollenhaus, mitTextur

Tafel: 3D Renderings 08



Dammwiese final, mitTextur

Tafel: 3D Renderings 10



Dammwiese Plan 1887-1888 final, mitTextur

Tafel: 3D Renderings 09



Christian-von-Tusch-Werk final, mitTextur

SITUATION

schon Funde in der ausgehobenen Fläche der
Dammwiese am k.k. Salzberg
zu
HALLSTATT.

Wasser und Kanal

Bestandtheile

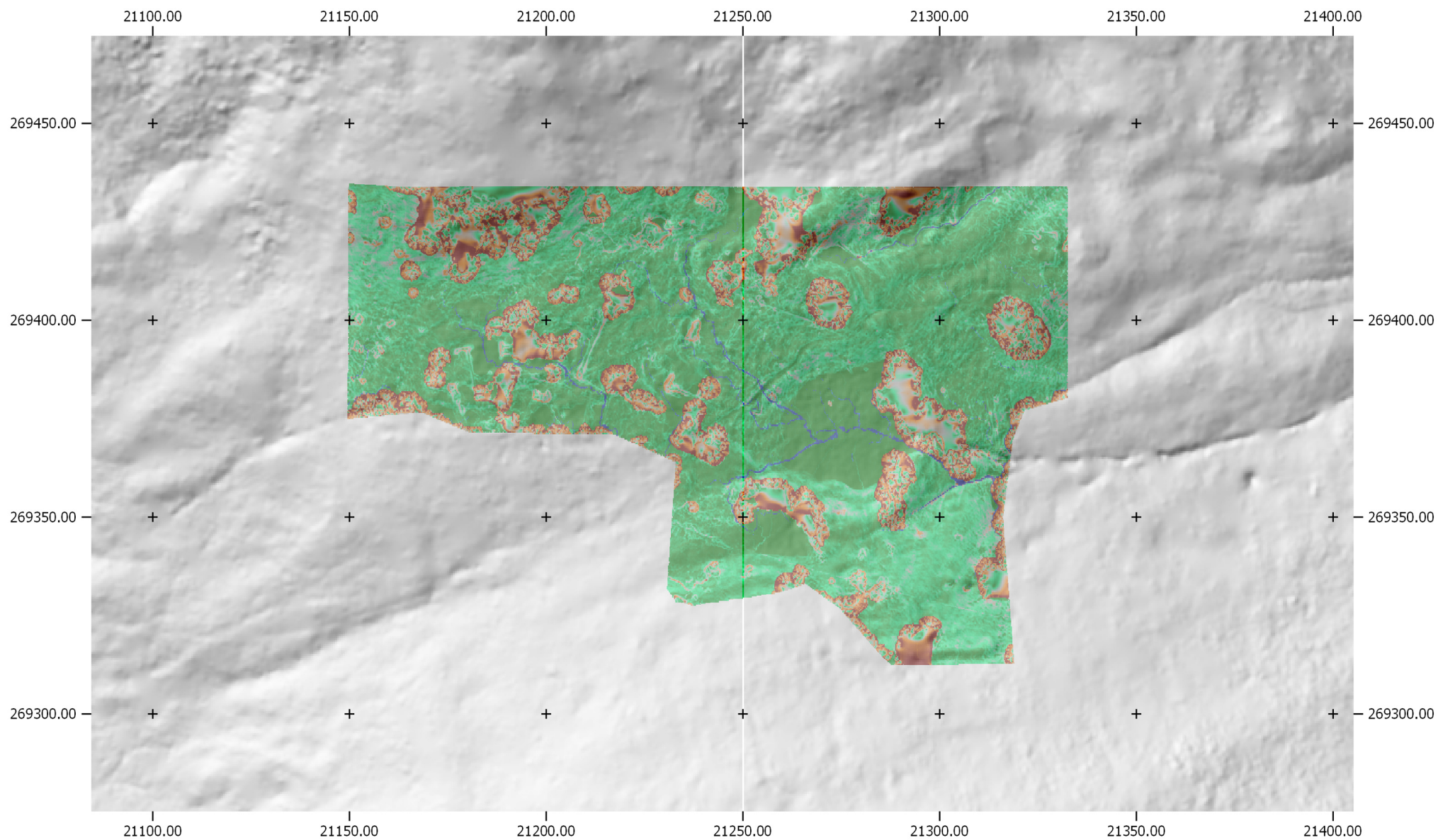
4 5 6 7 8 9 10 11

40 Meter.

0 1 2 3 4 5

Die Nummerierung der eingesetzten Holzstücke ist mit römische Ziffern gleichlautend angegeben.)

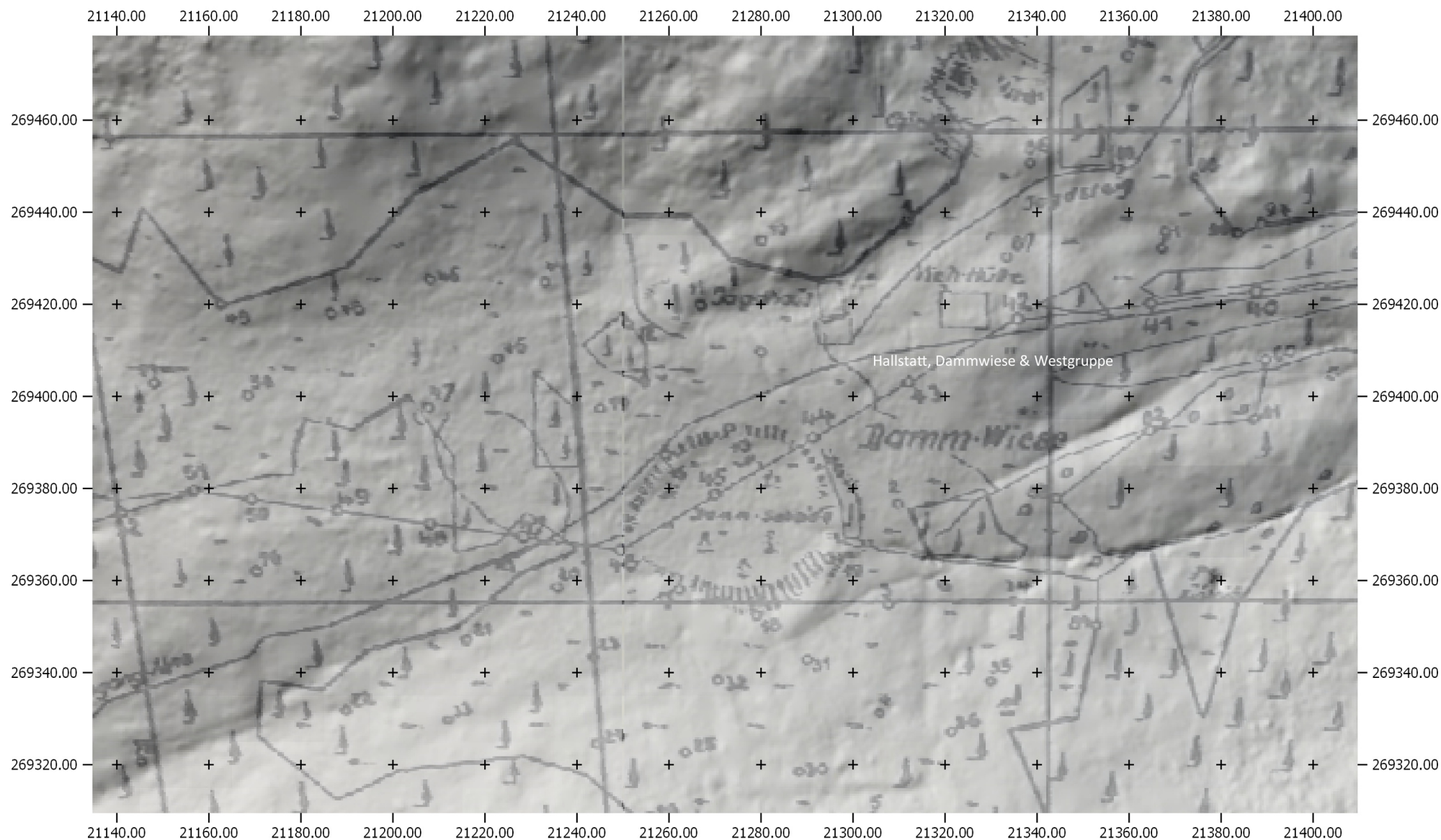
Dammwiese Plan 1887-1888, Funaktenarchiv PA NHM Wien



Hallstatt-Dammwiese 2019
DEM UAV 2015
Low relief model (LRM)
Quelle: Autor und
Oberösterreichisches Landesarchiv



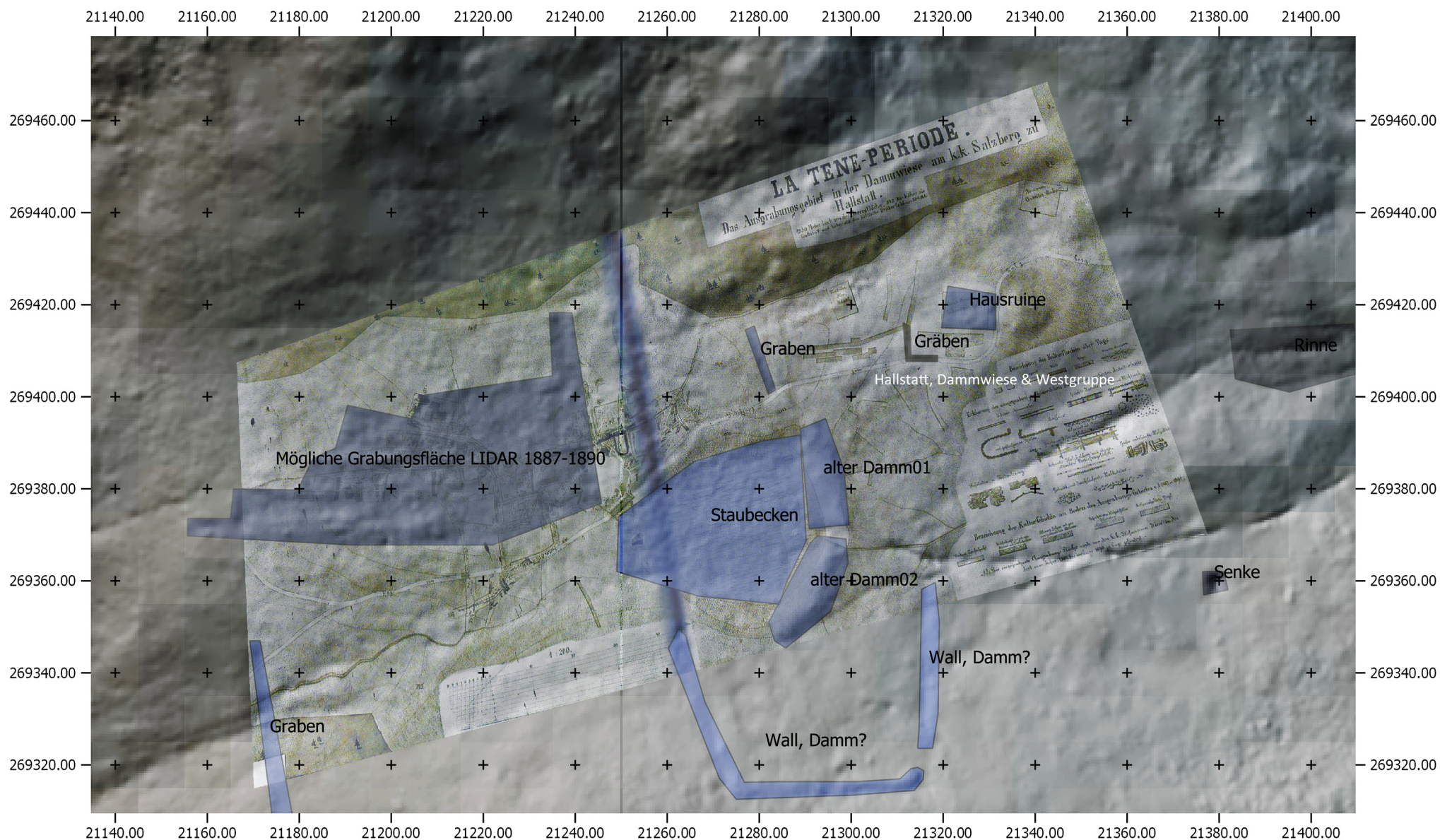
Hallstatt-Dammwiese 2019
Orthofoto Land OÖ
Befliegung Dammwiese
Quelle: Data.gv.at,
Oberösterreichisches Landesarchiv



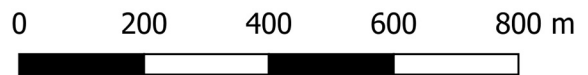
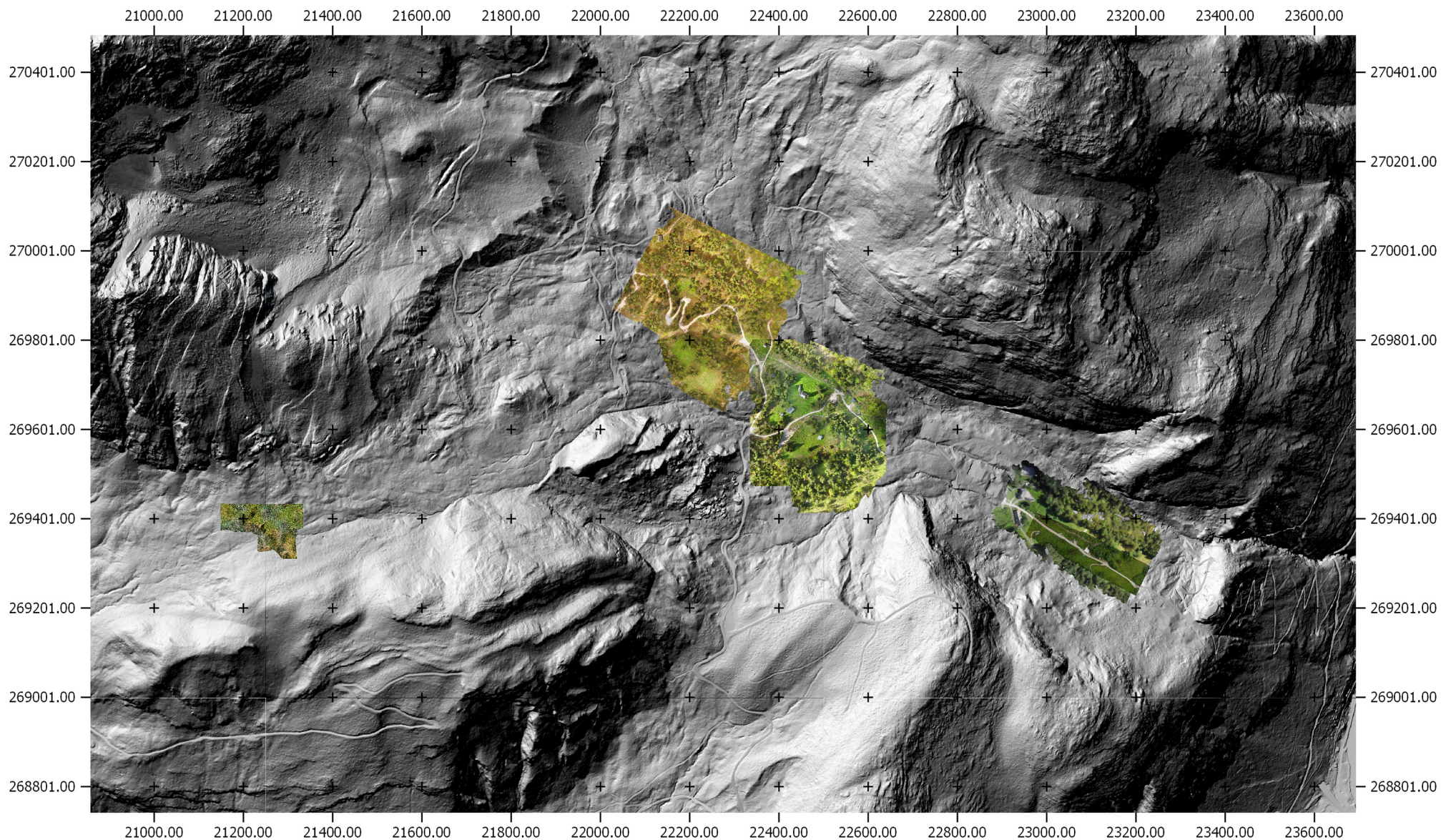
0 10 20 30 40 50 60 m



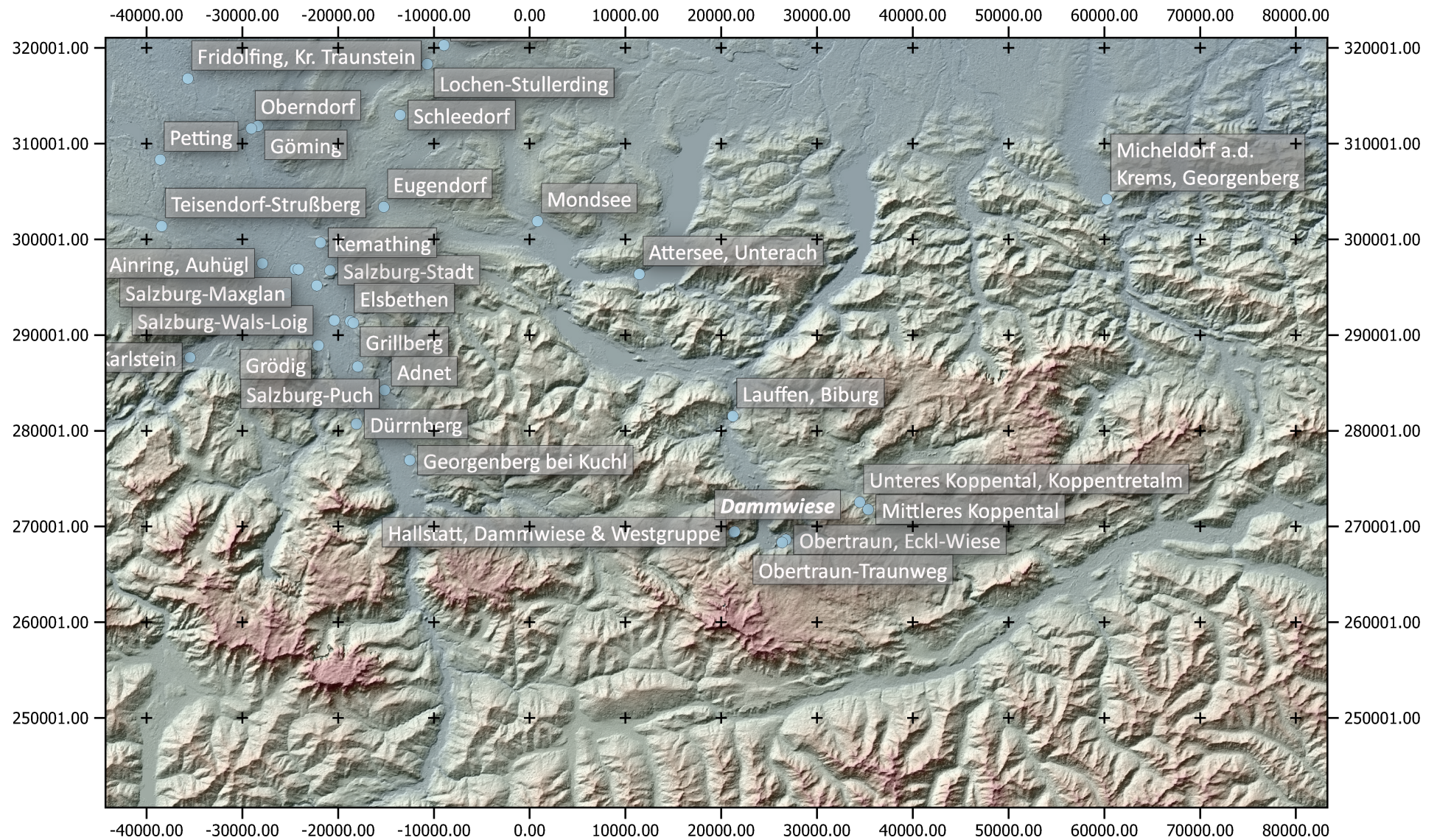
Hallstatt-Dammwiese 2019
Vermessungsplan Morton
Plan von F. Morton ca. 1939
Quelle: NHM Wien und
Oberösterreichisches Landesarchiv



Hallstatt-Dammwiese 2019
 Gesamtplan Grabung 1887-1890
 Plan und online Geointerpretation
 Quelle: NHM Wien und
 Oberösterreichisches Landesarchiv



Hallstatt - UAV 2014 - 2019
Befliegungen Hallstatt
Quelle: Autor, Schummerung,
DORIS, Land Oberösterreich 2019



0 10 20 30 40 50 km



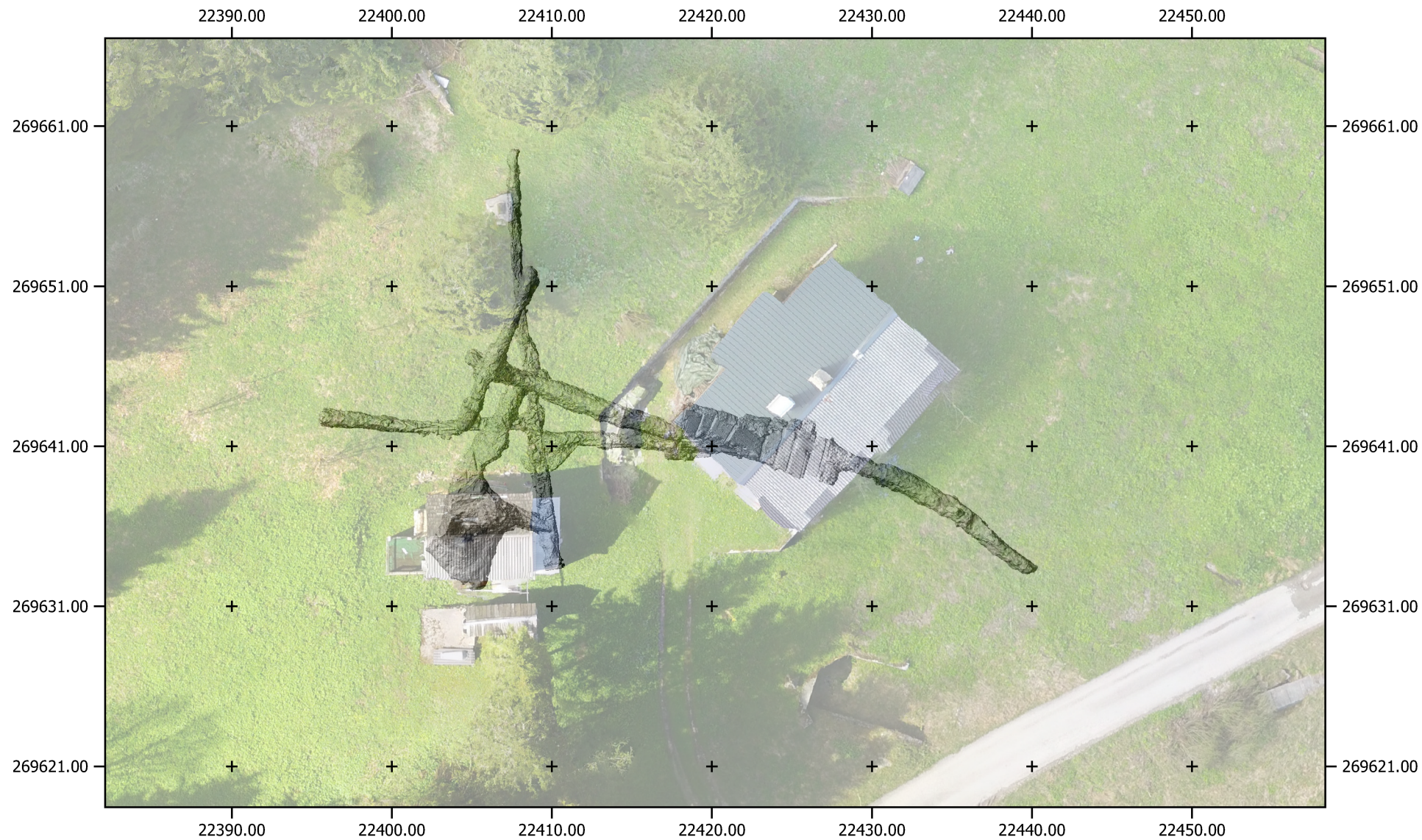
Verbreitungskarte Lt C/D

Die spätlatènezeitlichen Fundstellen um die Dammwiese

Quelle: Autor, nach Th. Stöllner 2007.

In Kooperation mit dem NHM Wien

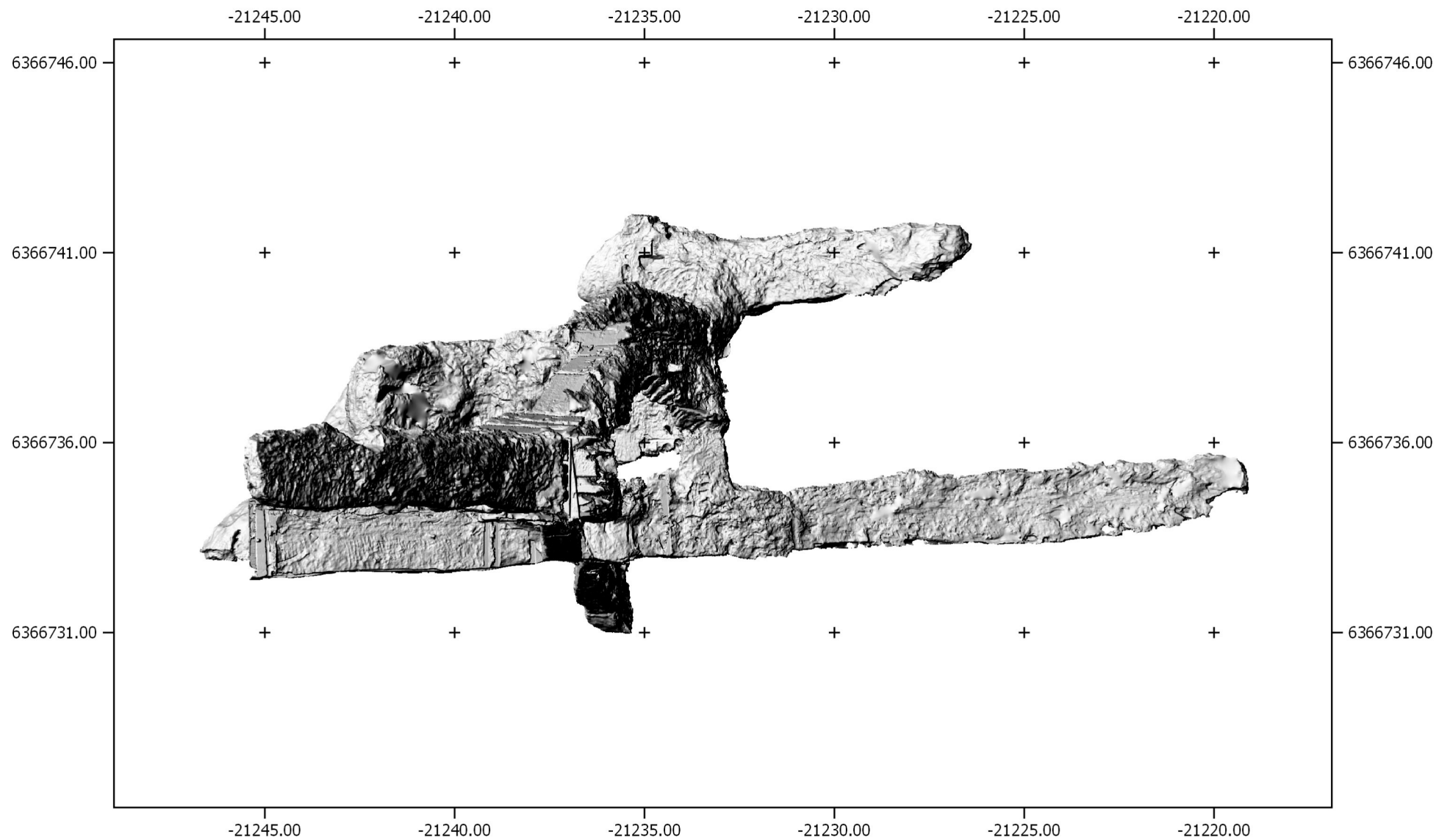
Projektion: WGS 84



0 5 10 15 20 m



Lage Christian-von-Tuschwerk
Position der Fundstelle am Orthofoto
Vom Autor und R. Skomorowski
In Kooperation mit dem NHM Wien &
Salinen Austria AG
Projektion: 31255, MGI GK Zentral



Tuschwerk Ostansicht 2016
Export aus IBM Modell
Quelle: Autor & Roman Skomorowski,
in Kooperation mit dem NHM Wien

