

Kerstin Kowarik, Hans Reschreiter, Gabriel Wurzer

Salz – Bergbau – Wirtschaft:

Diskussion wirtschaftsarchäologischer Aspekte am Beispiel der prähistorischen Salzbergwerke von Hallstatt

ABSTRACT: Salt has been an indispensable raw material for European societies from prehistory until today. Its importance can be easily deduced from the enormous size of the mining districts at the Hallstatt salt deposit. It is of essential importance for our understanding of the Hallstatt mining but also for discussing more general aspects of prehistoric economic practice to deal with structure and exchange mechanisms of supply. It is the question of the size of the demand of supply that is basic to approach to the more general understanding. In this article the demand of tools, consumption goods and labour force will be introduced and debated from various angles.

KEYWORDS: PREHISTORIC SALT MINING, HALLSTATT, LABOUR FORCE, SUPPLY STRUCTURE, AGENT BASED MODELLING (ABM)

ZUSAMMENFASSUNG: Salz stellte für europäische Gesellschaften bis in die Gegenwart einen schwer verzichtbaren Rohstoff dar. Die Bedeutung dieser Ressource für prähistorische Gruppen lässt sich u.a. an der enormen Größe der Bergbaureviere des Hallstätter Salzberges ablesen. Für das Verständnis des Hallstätter Bergbaus, aber auch für die Diskussion allgemeinerer Aspekte prähistorischen Wirtschaftens, ist die Auseinandersetzung mit Versorgungsstrukturen und –mechanismen von wesentlicher Bedeutung. Die Frage nach der Größe des Versorgungsbedarfs stellt in diesem Zusammenhang einen wesentlichen Ansatzpunkt dar. Im vorliegenden Beitrag werden Berechnungen zum Bedarf an Werkzeug, Verbrauchsmitteln und Arbeitskraft für den bronzezeitlichen Salzbergbau in Hallstatt vorgestellt und kritisch diskutiert.

SCHLÜSSELBEGRIFFE: PRÄHISTORISCHER SALZBERGBAU, HALLSTATT, ARBEITSKRAFT, VERSORGUNGSSTRUKTUREN, AGENTEN BASIERTE MODELLIERUNG (ABM)

Einleitung

Salz stellte für europäische Gesellschaften bis in jüngste Zeit einen schwer verzichtbaren Rohstoff dar. Die Bedeutung dieses Rohstoffs für prähistorische Gruppen lässt sich unter anderem an der Größe der Bergbaureviere im Dürrnberg bei Hallein und im Salzberg von Hallstatt ablesen. Gleichzeitig ermöglichen die exzellenten Erhaltungsbedingungen nahezu einzigartige Einblicke in prähistorische Arbeits- und Alltagswelten und bieten Startpunkte für die unterschiedlichsten Forschungsfragen.

Für das Verständnis des Hallstätter Bergbaus, aber auch für die Diskussion allgemeinerer Aspekte prähistorischen Wirtschaftens, ist die Untersuchung der Versorgungsstrukturen und –mechanismen ein wichtiger Ansatzpunkt (vgl. Stöllner, 1996/2002, 2006). In diesem Zusammenhang ist die Frage nach der Größe des Versorgungsbedarfs von besonderem Interesse. Die Interaktion zwischen einer Produktionsstruktur und ihrem

Umfeld ist ohne eine zumindest grobe Quantifizierung der benötigten Arbeitskraft, Betriebs- und Lebensmittel nur schwer rekonstruierbar. Auch hat die Größe des Versorgungsbedarfs einen nachhaltigen Einfluss auf die Struktur und die Abläufe innerhalb eines Produktionssystems.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der quantitativen Charakterisierung des Werkzeugverbrauchs der bronzezeitlichen Fundstelle im heutigen Christian von Tuschwerk. Eine Diskussion des Versorgungsbedarfs der bronze- und ältereisenzeitlichen Salzbergbaue im Hallstätter Hochtal wurde punktuell in Kowarik u. a. 2015 geführt und eine ausführliche Diskussion ist in Vorbereitung.

Grundlagen

Hallstatt liegt in den österreichischen Kalkalpen, am Fuß des Dachsteingebirges. Das Salzbergtal, in dem sich sowohl die prähistorischen Bergbaureviere wie auch das

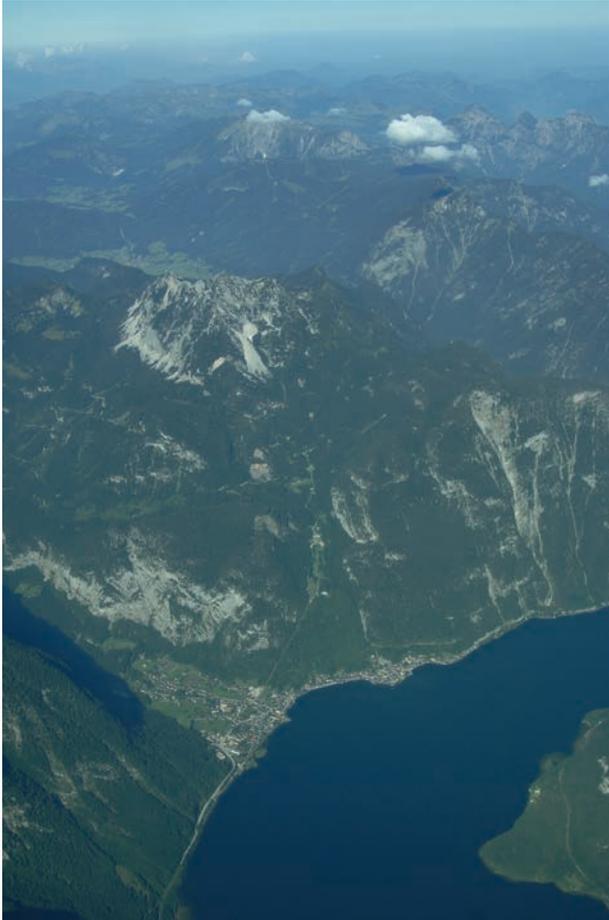


Abb. 1. Blick nach Nordwesten, im Vordergrund der Hallstätter See, Hallstatt und das Hallstätter Hochtal (Foto: ©Luftbildarchiv Universität Wien).

Gräberfeld der älteren Eisenzeit befinden, erstreckt sich über dem Ort zwischen 800 und 1400 m ü. NN (Abb. 1). Das ostalpine Steinsalzvorkommen wird hier zwischen zwei Kalkschollen bis knapp unter die Oberfläche gepresst.



Abb. 3. Abfallschichten des bronzezeitlichen Bergbaus an der Fundstelle Christian von Tuschwerk. Hier haben sich zahlreiche Geräte, Grubenhölzer und Leuchtspäne erhalten (Foto: ©NHM/ANWORA).

Es sind mehrere prähistorische Abbauphasen im Hallstätter Salzberg fassbar. Von diesen sind die bronzezeitliche Abbauphase¹ und die ältereisenzeitliche² am besten erforscht. Die große Zahl der bekannten untertägigen Fundstellen sowie die Ausgrabungsergebnisse der letzten Jahrzehnte belegen ausgedehnte Abbaureviere (Abb. 2).

Dennoch ist es nur schwer möglich, eine näherungsweise Schätzung des Volumens des abgebauten Salzes abzugeben. Zahlreiche Fundstellen sind nur aus kleinen Aufschlüssen bekannt und es bleibt bislang offen, ob und wie viele Abbaukammern pro Phase gleichzeitig in Betrieb waren.

Dank der konservierenden Wirkung von Salz sind die Erhaltungsbedingungen im Hallstätter Salzberg außergewöhnlich gut. Die Ausgrabungen der letzten Jahrzehnte haben große Mengen an Objekten aus organischen Materialien zutage gefördert. Bei diesen Objekten handelt es sich nahezu ausschließlich um unbrauchbar geworde-

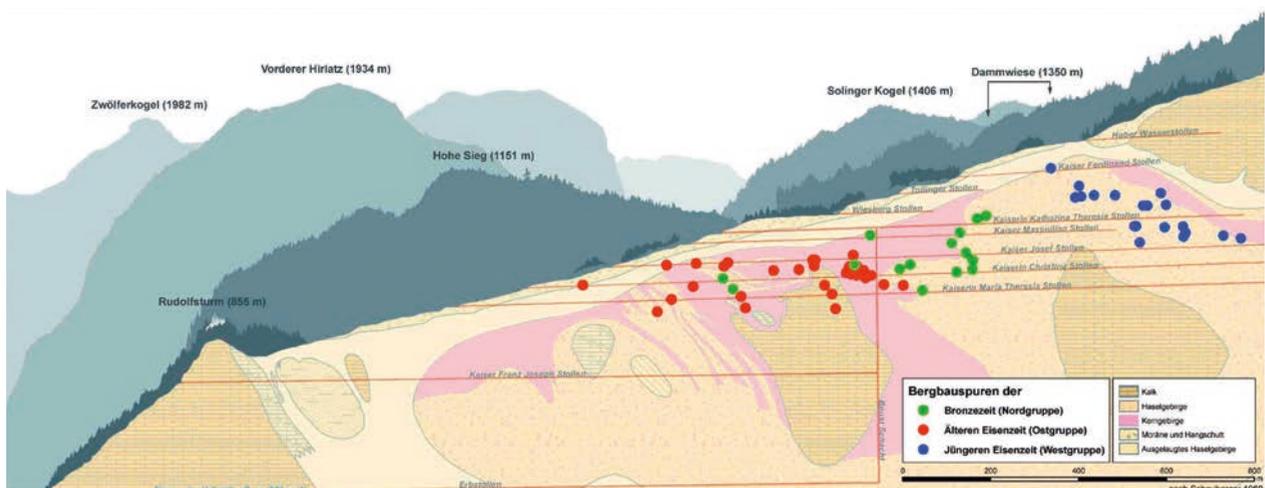


Abb. 2. Querschnitt durch den Hallstätter Salzberg mit den bekannten untertägigen Fundstellen (Grafik: ©NHM/Löcker).

ne Geräte und Werkmaterialien des prähistorischen Abbauprozesses. Noch verwendbare Werkzeuge oder Objekte, die nichts mit den untertägigen Abbauprozessen zu tun hatten, wurden nur selten zurückgelassen (Reschreiter, et al., 2014). Mächtige Schichten an prähistorischem Betriebsabfall deuten die große Dimension des prähistorischen Salzabbaus an (Abb. 3).

Die ergrabenen Materialien ermöglichen nahezu einzigartige Einblicke in die Lebens- und Arbeitswelt der prähistorischen Bergleute. Dennoch existieren bedeutende Quellenprobleme: 1) Bei dem Fundmaterial handelt es sich um hoch spezialisiertes Gerät zu dem außerhalb Hallstatts kaum Parallelen existieren. 2) Für die bronzezeitliche Abbauphase fehlen ein zugehöriges Gräberfeld und eine zugehörige Siedlung. Hingegen liegen klare Hinweise auf einen zweiten Produktionszweig vor – gepökeltes Fleisch (zuletzt Pucher, et al., 2013). 3) Für die ältereisenzeitliche Bergbauphase fehlt eine zugehörige Siedlung. Doch liegt ein Gräberfeld vor, das zumindest eine Grundlage für die Diskussion um die Größe der Bergbaugemeinschaft bietet (vgl. z. B. Hodson, 1996, S. 90-91). Ca. 1500 Gräber, die vom 9. bis 4. Jahrhundert v. Chr. datieren, sind bislang bekannt. Die durch die neueren Untersuchungen festgestellte hohe Belegungsdichte hat zu Überlegungen über die tatsächliche Zahl der Bestatteten geführt (Kern 1997; 2008).

Ganz im Gegensatz zum Dürrnberg bei Hallein ist die verkehrsgeografische Lage Hallstatts, fernab der klassischen Siedlungsgebiete und bedeutender Kommunikationsachsen, ungünstig. Siedlungsgebiete der Bronzezeit und älteren Eisenzeit sind im Wesentlichen im voralpinen Salzkammergut und im Ennstal lokalisiert (vgl. Kowarik, et al., 2015; Stöllner, 1996/2002, 2007; Schumann, 2013).

Der Versorgungsbedarf

Bei der Charakterisierung des Versorgungsbedarfs sind zwei Ebenen zu diskutieren:

- Qualitative Anforderungen
- Quantitative Anforderungen

Für die qualitative Charakterisierung des Versorgungsbedarfs ist der Informationsstand in weiten Teilen gut. Eine umfassende Vorlage der Anforderungskriterien an den wichtigsten Rohstoff der prähistorischen Bergbaue (Holz) ist in Vorbereitung³. Bereits jetzt kann eindeutig festgestellt werden, dass die Auswahlkriterien der Hölzer für Geräte und Werkmaterialien des bronze- und ältereisenzeitlichen Bergbaus sehr strikt waren und wenig Variation zugelassen wurde (Holzart, technische Kennwerte). Was die Geräte selbst betrifft, hat Fritz Eckart Barth bereits vor vielen Jahren auf die geringe Variationsbreite in den Maßen bestimmter Werkzeuggruppen hingewiesen (Barth 1967). Zusätzlich zeichnen sich einige Werkzeuggruppen, wie die berühmten bronzezeitlichen Tragsäcke und die bronzezeitliche Fahrt (Treppe),

durch ihre hohe Funktionalität aus (Barth, 1992, Reschreiter und Barth, 2005).

Hingegen stellt sich die quantitative Charakterisierung des Versorgungsbedarfs problematischer dar. In Anbetracht der großen Fundmengen und der Mächtigkeit der Abfallschichten scheint der Bedarf an Geräten und Werkmaterialien zunächst überwältigend groß. Eine weniger intuitive Einschätzung der verbrauchten Mengen an Betriebsmitteln ist notwendig. Im Folgenden werden zunächst die Probleme im Hinblick auf eine allgemeine quantitative Charakterisierung des Versorgungsbedarfs der bronzezeitlichen und ältereisenzeitlichen Salzbergbaue Hallstatts dargestellt.

Bronzezeitlicher Salzbergbau (Christian von Tuschwerk, Nordgruppe)

- Die Größe und Struktur der Bergbaugemeinschaft, die für den Abbaubereich im Christian von Tuschwerk vorauszusetzen ist, ist unbekannt.
- Die Größe und Struktur der Bergbaugemeinschaft, die für die Abbaubereiche im Grüner- und Appoldwerk (Nordgruppe) vorauszusetzen ist, ist unbekannt.
- Die Intensität der Abbautätigkeit ist unbekannt (saisonal/ganzjährig, Anzahl der gleichzeitig in Operation befindlichen Abbaukammern und Schachtsysteme dargestellt).
- Die Dauer der Abbautätigkeit in der am besten erforschten bronzezeitlichen Abbaukammer (Ausgrabung Christian von Tuschwerk) kann nur auf einen Maximal-Zeitraum beschränkt werden⁴.
- Nur ein Bruchteil der bronzezeitlichen Abbaureviere ist systematisch ergraben.

Ältereisenzeitlicher Salzbergbau (Ostgruppe)

- Die Größe und Struktur der Bergbaugemeinschaft kann auf Grundlage des Gräberfeldes und der Funde aus den ältereisenzeitlichen Abbaureviere besser eingeschätzt werden als für die bronzezeitliche Bergbauphase (Reschreiter, et al., 2013; Pany-Kucera, et al., 2010; Pany, 2005). Es bleiben dennoch große Unsicherheiten bestehen (zuletzt Reschreiter und Kowarik, 2015).
- Die erhaltenen Skelette aus den ältereisenzeitlichen Gräbern erlauben über die Analyse der Muskelmarken eine Einschätzung der Arbeitsintensität (Pany-Kucera, et al., 2010; Pany, 2005), allerdings handelt es sich hier nur um einen kleinen und möglicherweise nicht repräsentativen Ausschnitt aus den Gräbern der Hallstätter Nekropole (zuletzt Reschreiter und Kowarik, 2015).
- Die Dauer der Abbautätigkeit kann nur auf einen Maximal-Zeitraum beschränkt werden.
- Nur ein Ausschnitt der ältereisenzeitlichen Abbaureviere ist systematisch ergraben. Allerdings ist dieser Ausschnitt deutlich größer als in der Bronzezeit.

- Es liegen eindeutige Hinweise vor, dass ein Großteil der Gerätschaften des ältereisenzeitlichen Bergbaus in den Abbaurevieren verbrannt wurde (Reschreiter, et al., 2009).

Auf den ersten Blick bietet die ältereisenzeitliche Abbauphase eine bessere Ausgangslage für den Versuch einer Quantifizierung. Allerdings stellt der letzte der oben aufgelisteten Punkte ein schwer zu überwindendes Hindernis dar. Für die Quantifizierung des Werkzeugverbrauchs liefert das bronzezeitliche Abbaurevier im Christian von Tuschwerk deutlich bessere Grundlagen. Die Ausgrabungsergebnisse der letzten Jahre legen nahe, dass der überwiegende Teil der verwendeten Betriebsmittel im Abbaubereich selbst zurückgelassen wurde (Reschreiter, et al., 2013). Daher wurde zunächst das Christian von Tuschwerk als Startpunkt für unsere Überlegungen zu Werkzeugverbrauch und –bedarf gewählt.

Was den ältereisenzeitlichen Bergbau betrifft, scheint eine Annäherung auf der Grundlage des Gräberfeldes im Hochtal ein viel versprechender Weg für zukünftige Forschungen. Wobei hier noch offene Fragen zu klären wären. So haben z. B. die neuen Ausgrabungen durch Anton Kern gezeigt, dass mit einer deutlich höheren Belegungsdichte, als bisher angenommen, zu rechnen ist (Kern, 1997; 2008). Allerdings bleibt hierzu zu diskutieren, ob diese für alle Bereiche des Gräberfeldes anzunehmen ist.

Werkzeugverbrauch im Christian von Tuschwerk

Inwieweit entspricht der optisch-intuitive Eindruck enormer Fundmengen und entsprechend eines hohen Werkzeugverbrauchs den Tatsachen bzw. inwieweit kann dieser Eindruck in Zahlen gefasst werden?

Bis 2008 wurde im Christian von Tuschwerk eine Fläche von rund 50 m² ausgegraben, dabei wurden 300 Schäftungen, 17 Kratzen und 30 Schwingen entdeckt. Mehrere Befunde erlauben es, die mögliche Kammerhöhe auf eine Spanne von knapp 5 m bis zu mindestens über 10 m einzugrenzen. Für die Berechnungen des Werkzeugverbrauchs wurde eine Kammerhöhe von 10 m gewählt. Die agentenbasierte Simulation des Arbeitsprozesses erlaubt bei dem Parameter Kammerhöhe eine Variation von 2 m bis zu 18 m (s. u.).



Abb. 4a-c. Zentrale Werkzeuggruppen des bronzezeitlichen Bergbaus im Bereich des Christian von Tuschwerks: a) Pickelschäftung, b) Kratze und c) Schwinge (Foto: ©NHM/ANWORA).

Auf dieser Grundlage wurden folgende Berechnungen angestellt:

- **50 m² (Ausgrabungsfläche) x 10 m (angenommene Kammerhöhe) = 500 m³ abgebautes Gebirge**
- **300 Schäftungen/500 m³ = 0,6 verbrauchte Schäftungen pro Kubikmeter abgebauten Gebirges**
- **17 Kratzen/500 m³ = 0,03 verbrauchte Kratzen pro Kubikmeter abgebauten Gebirges**
- **30 Schwingen/500 m³ = 0,06 verbrauchte Schwingen pro Kubikmeter abgebauten Gebirges**
- **Leuchtpäne wurden anders berechnet: Auszählung der erhaltenen Leuchtpäne in 2001 ausgegrabenes Heidengebirge ergab hochgerechnet auf den Kubikmeter festes Gebirge 2660 Leuchtpäne**

Die oben berechneten Werte repräsentieren den Werkzeugverbrauch in einem Ausschnitt der Abbaukammer (Fläche 50 m²)⁵. Für die Berechnung des Verbrauchs einer Abbaukammer insgesamt muss zunächst die Gesamtgröße der Kammer interpoliert werden. Auf Grundlage der Ausgrabungsergebnisse Stand 2008 wurde eine Grundfläche von 40 x 100 m² rekonstruiert (Kowarik, et al., 2012)⁶ und eine Kammerhöhe von 10 m angenommen. Tabelle 1 stellt den Werkzeugverbrauch in einer Abbaukammer während der gesamten angenommenen Betriebszeit sowie pro Jahr dar. Dabei wurde mit verschiedenen Betriebszeiten gerechnet, da die Zeitspanne von 213 Jahren als Maximalzeitraum (s. o.) angesehen werden muss. Es ist durchaus denkbar, dass die Arbeiten in der Kammer bereits deutlich früher abgeschlossen waren und diese nur noch als Durchgangsraum zu tiefer liegenden Kammern diente.

Werkzeugverbrauch	Verbrauch pro m ³ abgebauten Gebirges	Volumen Halle (m ³)	Verbrauch gesamt	Verbrauch pro Jahr (213 Jahre)	Verbrauch pro Jahr (125 Jahre)	Verbrauch pro Jahr (63 Jahre)	Verbrauch pro Jahr (32,5 Jahre)
Schäftungen	0,60	40.000	24.000	112,68	192,00	380,95	738,46
Kratzen	0,03	40.000	1.200	5,63	9,60	19,05	36,92
Schwingen	0,06	40.000	2.400	11,27	19,20	38,10	73,85
Leuchtpäne	2.660,00	40.000	106.400.000	499.530,52	851.200,00	1.688.888,89	3.273.846,15

Tab 1. Werkzeugverbrauch an der bronzezeitlichen Fundstelle Christian von Tuschwerk, hochgerechnet auf eine Kammergröße von 40 x 100 x 10 m.

Mit den oben dargestellten Zahlen ist nun ein erster Schritt in Richtung einer objektivierten Einschätzung des Geräteverbrauchs und in weiterer Folge des Bedarfs getätigt.

- Arbeitszeiten: Die einzelnen Arbeitsschritte wurden mit rekonstruierten Werkzeugen nachgestellt und der Zeitaufwand gemessen (s. Abb. 5).

Agentenbasierte Simulation (ABM) der Arbeitsprozesse an der bronzezeitlichen Fundstelle Christian von Tuschwerk

Die oben aufgelisteten Quellenprobleme führten 2008 zur Bildung einer Arbeitsgruppe, die sich aus ArchäologInnen und ComputerwissenschaftlerInnen zusammensetzt, mit dem Ziel durch den Einsatz computerbasierter Modellierungstechniken eine Annäherung an bestimmte Fragestellungen zu finden z. B.:

- Wie groß war der Bedarf an Arbeitskräften in einer Abbaukammer?
- In welcher Relation stehen die Größe der Arbeitsgruppe und die Zeitspanne bis zum Entstehen einer Abbaukammer, die in ihren Dimensionen mit jener im Christian von Tuschwerk vergleichbar ist?

Zu diesem Zweck wurde eine agentenbasierte Simulation der Arbeitsprozesse im Abbaubereich des Christian von Tuschwerks entwickelt (Kowarik, et al., 2009). Die Wahl einer agentenbasierten Simulation erfolgte vor allem aus dem Grund, dass eine Interaktion mit der simulierten Welt gewünscht war, aber auch die Interaktion der verschiedenen Arbeitsgruppen (HäuerInnen und TransporteurInnen) beobachtet werden sollte. Neben den oben aufgelisteten Fragen sollten auch Aspekte der räumlichen Organisation und Koordination von zwei verschiedenen Arbeitsaufgaben betrachtet werden. Die detaillierte Beschreibung des Modells findet sich in (Kowarik, et al., 2009, 2012). Im Folgenden werden die Grundzüge des Modells nur grob umrissen. Diese Darstellung folgt der Erstpublikation des Modells im Jahr 2009 (Kowarik, et al., 2009).

Datengrundlage

- Höhe und Ausdehnung der Abbaukammer: Ausgehend von den archäologischen Befunden wurde die Größe des Abbaureviers mit 40 x 100 x 6-19 m festgelegt⁷.

Measured Data Item	Value Unit
Digging with a Bronze Age Tool	4,2 l / 20 min
Filling a Carrying Sack of capacity = 20 l in height = 1,7 m	60 s 57 s 56 s
Walking with a filled Carrying Sack of 20 l on a Plane	9,5 s / 10 m 9,9 s / 10 m 9,6 s / 10 m
Fill into Lift	10,5 s / 15 l 13,3 s / 15 l 10,3 s / 15 l

Abb. 5. Experimentalarchäologisch ermittelte Zeit für verschiedene Arbeitsschritte.

Der modellierte Prozess

- Das feste Gebirge wird von HäuerInnen mit Bronzepickeln abgebaut.
- Dabei kommt es zu einer Auflockerung des Materials. Der Auflockerungsfaktor beträgt 1,7 m³ auf 1 m³ festes Gebirge. (Dies wird in der Simulation berücksichtigt.)
- Gebrochenes Salz wird gesammelt.
- Das gebrochene Salz wird in den Tragsack gefüllt.
- Das Salz wird zum Schacht transportiert.
- Die Salzmenge, die den Schacht erreicht, stellt den Output der Abbaukammer dar.
- Das Modell rechnet mit reiner Arbeitszeit, d.h. Ermüdung, Pausen, Ruhetage etc. wurden nicht berücksichtigt.

Der modellierte Arbeitsprozess ist auf eine Abbaukammer beschränkt und umfasst:

- Die Auswahl des Abbaureviers.
- Das Brechen des Salzes.
- Sammeln des Salzes und Transport zum Füllort.

Es stehen zwei verschiedene Typen von ArbeiterInnen zur Verfügung:

- HäuerInnen, die das Salz brechen.
- TransporteurInnen, die das Salz transportieren.

Parameter, die vor jedem Simulationsdurchlauf eingestellt werden können:

- Zahl der ArbeiterInnen (HäuerInnen und TransporteurInnen jeweils getrennt),
- tatsächliche Höhe der Abbaukammer und daraus resultierend die Anzahl der Abbaustufen („layer“).

Thesen

1. Der Arbeitsprozess war personalintensiv. Argument: Mächtigkeit der Abfallschichten, Zahl der Werkzeuge.
 - a. Es wurden „viele“ ArbeiterInnen benötigt.
 - b. Es werden „viele“ HäuerInnen (Salz brechen) und vergleichbar „viele“ TransporteurInnen (Transport vom Abbaort zum Schacht) benötigt.
2. Der Arbeitsablauf ist darauf ausgerichtet, Stehzeiten zu vermeiden. Argumente: Konstruktion der Tragsäcke ermöglicht Ausleeren ohne Absetzen, die Breite der bronzzeitlichen Stiege erlaubt Begehen im Gegenverkehrsbetrieb.
3. Der Arbeitsprozess ist stark segmentiert. Argument: spezialisierte auf jeden Arbeitsschritt abgestimmte Werkzeuge.
4. intensive Arbeitsteilung
 - a. Salzabbau und Salztransport wurden von unterschiedlichen Personengruppen ausgeführt.
5. Salzabbau und Salztransport erfolgten zeitlich parallel.

Ein Ziel der Arbeit mit der Simulation war die Annäherung an die Mindestzahl an Bergleuten (HäuerInnen und TransporteurInnen), die benötigt worden wäre, um eine Abbaukammer einer festgelegten Größe und variablen Höhe (Parametereinstellung) entstehen zu lassen. Die Simulationsdurchläufe erbrachten ein überraschendes Resultat: Deutlich weniger Arbeitskraft als implizit

angenommen, hätte in einer relative kurzen Zeitspanne (reine Arbeitszeit!) eine vergleichbare Kammer entstehen lassen können (s. Abb. 6, Tab. 2). So hätten beispielsweise 25 Bergleute in Abhängigkeit von der Kammerhöhe zwischen 4,75 und 41,39 Jahre reine(!) Arbeitszeit benötigt. Weitere Szenarien sind in Abb. 6 und Tabelle 2 dargestellt.

Es wird darüber hinaus deutlich, dass eine Erhöhung der Anzahl an ArbeiterInnen nicht im direkten Verhältnis zur Verkürzung der benötigten Arbeitszeit führt (s. Abb. 6 und Tab. 2). Dies ist im Wesentlichen auf den Platzmangel während der Anfangsphase zurückzuführen⁸.

Ursprünglich sollte das ideale Verhältnis von HäuerInnen zu TransporteurInnen im Arbeitsablauf vermittelt werden. Doch bereits die experimentalarchäologische Erhebung der Arbeitszeiten machte deutlich, dass die TransporteurInnen im Arbeitsablauf eine untergeordnete Rolle spielen (s. Abb. 5). Dies stellt eine signifikante Abweichung von der ursprünglichen Annahme dar (vgl. These 1b). Möglicherweise wurden diese Tätigkeiten also nicht parallel, sondern nacheinander ausgeführt (vgl. These 5). Entsprechend ist auch die These in Frage zu stellen, die davon ausgeht, dass der Transport des Salzes von einer spezialisierten TrägerInnengruppe ausgeführt wurde (vgl. These 4). Die These einer Teilung der Arbeitskraft in zwei spezialisierte Gruppen (HäuerInnen und TransporteurInnen) gründet vor allem auf einem Argument: Die Muskelmarkenanalyse an den Knochen aus den Bestattungen im ältereisenzeitlichen Gräberfeld belegen eine starke Arbeitsteilung und intensive Spezialisierung (Pany, 2005). Im Analogieschluss wird eine starke Spezialisierung der Arbeitskraft auch für die Bronzezeit angenommen. Die Simulationsergebnisse zeigen nun, dass Argument b kritisch zu diskutieren ist und sämtliche Thesen, die sich dieses Arguments bedienen, ebenfalls kritisch zu diskutieren sind. Hinsichtlich der Thesen 2 und

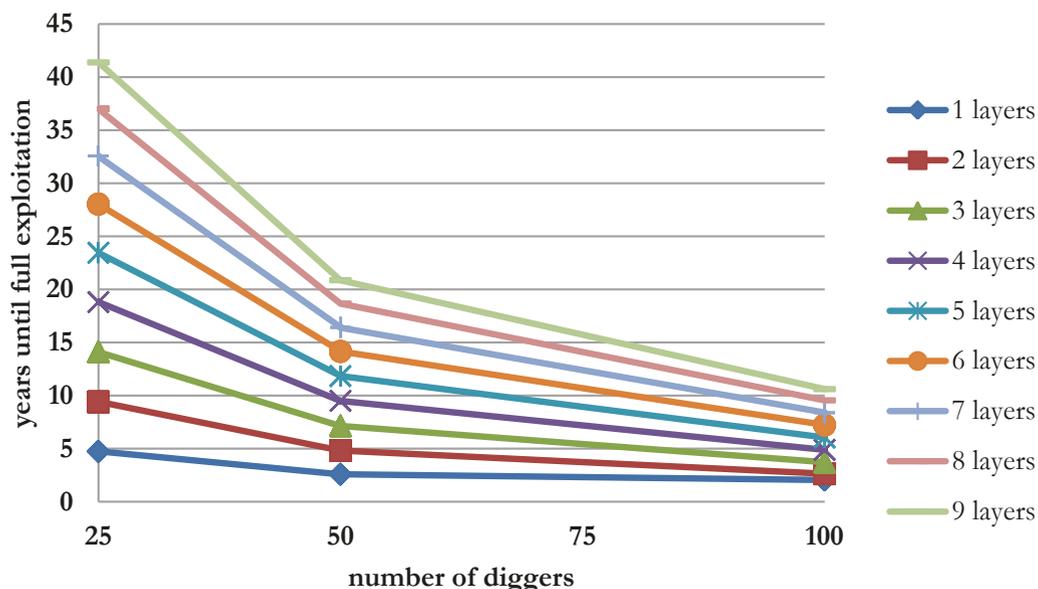


Abb. 6. Zeitdauer bis zur Entstehung einer Abbaukammer mit einer Grundfläche von 40 x 100 m² in Abhängigkeit von der Kammerhöhe (Anzahl der „layer“) und in Abhängigkeit von der Zahl der HäuerInnen („digger“) und TransporteurInnen („transporter“). Ein Layer entspricht zwei Metern. Simulationsdurchläufe: pro Layer 1-7 zehn Durchläufe, Layer 8-9 ein Durchlauf.

Reine Arbeitszeit in Jahren	Arbeitszeit bei 25 Bergleuten	Arbeitszeit bei 50 Bergleuten	Arbeitszeit bei 100 Bergleuten
Anzahl Layer: 1	4,8	2,6	2,1
Anzahl Layer: 2	9,4	4,8	2,6
Anzahl Layer: 3	14,1	7,1	3,7
Anzahl Layer: 4	18,8	9,5	4,9
Anzahl Layer: 5	23,5	11,8	6,1
Anzahl Layer: 6	28,1	14,2	7,2
Anzahl Layer: 7	32,6	16,4	8,4
Anzahl Layer: 8	37	18,7	9,6
Anzahl Layer: 9	41,4	20,9	10,6

Tab. 2: Darstellung der reinen Arbeitszeiten (ohne Ruhepausen, Ermüdung, Schichten) in Abhängigkeit von der Zahl der ArbeiterInnen und der Höhe der Abbaukammer. Die Höhe der Abbaukammer wird durch die Zahl der „layer“ ausgedrückt. Ein Layer entspricht 2 m. Grün hervorgehoben Kammerhöhe 10 m. Auf dieser Höhe beruhen die Berechnungen zum Werkzeugverbrauch (s. o.).

3 hat die Simulation keine gegenteiligen Ergebnisse erbracht, denn die zugrunde liegenden Argumente lassen sich auch in das neue Modell des bronzezeitlichen Arbeitsablaufs einpassen.

„Reale“ Arbeitszeit

In der agentenbasierten Simulation wird die Dauer der benötigten Arbeitszeit in „reiner“ Arbeitszeit dargestellt. Dies hat den Vorteil, dass vermieden werden kann, Annahmen zu treffen, die das Aussagepotential archäologischer Quellen vollkommen überfordern würden. Es hat allerdings den Nachteil, dass die ermittelten Werte nur schwer in die „Realwelt“ übertragen bzw. die Auswirkungen abgeschätzt werden können. Es ist z. B. nicht möglich, diese Werte mit demographischen Überlegungen oder Wuchszeiten von Pflanzen (z. B. Tannen oder Getreide) zu korrelieren. Daher wurden in einem zusätzlichen Schritt die reinen Arbeitszeiten in „reale“ Arbeitszeiten umgerechnet (Kowarik, et al., 2012). Dies machte die Festlegung von Ruhezeiten, effektiver Arbeitsleistung

sowie arbeitsfreier Tage notwendig. Diese Daten lassen sich aus archäologischen Quellen nicht gewinnen.

Das Arbeitszeitmodell

Nach Erhebungen zu neuzeitlichen Arbeitsleistungen im Hallstätter Salzberg sind zu jeder Stunde reiner bergmännischer Tätigkeit (Vortrieb und Transport) 100 % Stunden dazurechnen, die sich aus Anfahrt/Ausfahrt, Pausen und sonstige Tätigkeiten zusammensetzen (unpubl. Protokoll Unterberger). Für unsere Umrechnung von reiner Arbeitszeit in „reale Arbeitszeit“ haben wir uns entschlossen, auf diese Daten zurückzugreifen (Kowarik, et al., 2012). Hinzukommen, willkürlich gewählt, Arbeitsschichten von 10 Stunden pro 24 Stunden (Aufschlag von 100 % bereits einberechnet). Zusätzlich rechnen wir mit 36 Tagen Arbeitsruhe pro Jahr. Schlussendlich arbeitet eine Person nach diesem Arbeitszeitmodell effektiv fünf Stunden (Vortrieb und Transport) im Bergwerk an 329 Tagen im Jahr (Kowarik, et al., 2012). Tabelle 3 stellt verschiedene Szenarien dar (Nutzungsdauer der Abbaukammer, Höhe der Abbaukammer, Grundfläche der Abbaukammer ist fixiert: 40 x 100 m). Auch nach der Umrechnung in „reale Zeit“ zeigt sich, dass die benötigte Arbeitszeit in den meisten Fällen (Szenarien) deutlich unter 213 Jahren bleibt (Tab. 3). So würden 25 Bergleute unter unseren Modellannahmen etwa 125 Jahre benötigen, um eine Kammer von der Grundfläche 40 x 100 und Höhe 10 m (5 Layer) entstehen zu lassen, 50 etwa 63 Jahre und 100 etwa 33 Jahre.

Diskussion

Die in diesem Beitrag vorgestellten Zahlen resultieren aus einfachen Berechnungen (Tabellenkalkulation) sowie aus einem einfachen agentenbasierten Modell. Sie repräsentieren das Resultat von Berechnungen unter bestimmten explizit gemachten Modellannahmen und können dementsprechend kritisch diskutiert und reproduziert oder zugunsten veränderter Modellannahmen verworfen werden.

Reine Arbeitszeit in Jahren	Arbeitszeit bei 25 Bergleuten	Arbeitszeit bei 50 Bergleuten	Arbeitszeit bei 100 Bergleuten	„Reale“ Arbeitszeit in Jahren	Arbeitszeit bei 25 Bergleuten	Arbeitszeit bei 50 Bergleuten	Arbeitszeit bei 100 Bergleuten
Anzahl Layer: 1	4,8	2,6	2,1		25,6	13,8	11,2
Anzahl Layer: 2	9,4	4,8	2,6		50,1	25,6	13,8
Anzahl Layer: 3	14,1	7,1	3,7		75,1	37,8	19,7
Anzahl Layer: 4	18,8	9,5	4,9		100,1	50,6	26,1
Anzahl Layer: 5	23,5	11,8	6,1		125,1	62,8	32,5
Anzahl Layer: 6	28,1	14,2	7,2		149,6	75,6	38,3
Anzahl Layer: 7	32,6	16,4	8,4		173,6	87,3	44,7
Anzahl Layer: 8	37	18,7	9,6		197,0	99,6	51,1
Anzahl Layer: 9	41,4	20,9	10,6		220,5	111,3	56,4

Tab. 3: Reine und „reale“ Arbeitszeiten in Abhängigkeit von der Zahl der ArbeiterInnen und der Höhe der Abbaukammer. Die Höhe der Abbaukammer wird durch die Zahl der Layer ausgedrückt. Ein Layer entspricht 2 m. Grün hervorgehoben Kammerhöhe 10 m. Auf dieser Höhe beruhen die Berechnungen zum Werkzeugverbrauch (s.o.).

Allerdings steht ein wesentlicher Schritt noch aus: Diese Zahlen müssen kontextualisiert werden bzw. im Hinblick auf die Frage diskutiert werden, ob es sich hier um „viele“ oder „wenige“ Schäftungen, Kratzen, Schwingen und Leuchtspäne handelt. Was bedeutet viel oder wenig in diesem Zusammenhang⁹? Diese Frage ist im Hinblick auf den Hallstätter Salzbergbau noch nicht systematisch diskutiert worden. Es wäre also zunächst zu fragen, viel oder wenig im Vergleich wozu? Unter welchen Bedingungen wäre der Verbrauch an z.B. Schäftungen hoch zu bewerten? Wäre etwa die lokal vorhandene Menge des für die Fertigung benötigten Rohstoffs, z.B. Buchenholz für die Schäftungen, ein relevantes Kriterium? Ist der Verbrauch an Leuchtspänen hoch und jener an Schwingen als gering einzustufen? Für eine Schwinde aus Überwallungsholz benötigt man einen Baum(stumpf), hingegen kann man aus einem Baumstamm zahlreiche Leuchtspäne herstellen (wie viele, wäre zu klären). In diesem Zusammenhang stellt die Berechnung der notwendigen Waldfläche für die Gewinnung einer bestimmten Zahl an Leuchtspänen, Schäftungen, Schwingen und Kratzen einen wichtigen Schritt dar. Arbeiten in diese Richtungen haben gerade erst begonnen¹⁰. Ähnliche Fragen sind im Hinblick auf die berechneten Arbeitszeiten und Gruppengrößen zu diskutieren.

Als wesentlicher Kritikpunkt darf wohl angeführt werden, dass diesen Zahlen starke Vereinfachungen zu Grunde liegen (ausführliche Diskussion Kowarik, et al., 2012) bzw. dass es sich hier um sehr einfache Modelle handelt. So betrachtet die Berechnung des Werkzeugverbrauchs im Christian von Tuschwerk lediglich vier Werkzeuggruppen, das Modell des Arbeitsprozesses umfasst nur einen kleinen, wenngleich wesentlichen, Ausschnitt aller in einem Bergbau notwendigen Aktivitäten. Geschlechts- oder altersspezifische Arbeitsteilung wird nicht berücksichtigt und die Umrechnung der reinen Arbeitszeit in „reale“ Arbeitszeit basiert auf Annahmen, die zum Großteil einer Datengrundlage entbehren. Ein kleiner Teil dieser Vereinfachungen wären mit einem höheren Zeitaufwand für umfassendere Datenrecherche zu vermeiden gewesen – der Großteil jedoch nicht, denn computerbasierter Modelle, wie z. B. agentenbasierte Simulationen, aber auch einfache Berechnungsmodelle (z. B. in einem Tabellenkalkulationsprogramm) erfordern eindeutige Aussagen, die der archäologische Quellenbestand oftmals nicht liefern kann. Doch Vereinfachungen dürfen nicht nur als zu vermeidendes Übel betrachtet werden, sondern sind auch als wichtiges erkenntnistheoretisches Werkzeug zu verstehen. Vereinfachung ist ein inhärenter Bestandteil von Modellbildung. „A model is a simplification – smaller, less detailed, less complex, or all of these together – of some other structure or system.“ (Gilbert und Troitzsch, 2005, 2). Modelle weisen die unterschiedlichsten Formen auf, z. B. graphische Darstellungen, verbale Beschreibungen oder Computerprogramme (Gilbert und Troitzsch, 2005, 2). Ein wesentlicher Vorteil computerbasierter Modelle, aber auch einfacherer Berechnungsmodelle liegt darin, dass Vereinfachungen explizit gemacht

und Modellannahmen formalisiert werden und weniger intuitiv geschehen (vgl. Epstein, 2008). Darüber hinaus erlauben computerbasierte Simulationen das explorative Arbeiten mit unterschiedlichen Modellszenarien und stellen daher ein durchaus nützliches Werkzeug zur Analyse und Deutung wirtschafts- und sozialarchäologischer Problemstellungen dar (vgl. Premo, 2010, Kowarik, 2013). Im Besonderen agentenbasierte Simulationen finden bereits seit einigen Jahren Anwendung im Bereich der sozial- und kulturwissenschaftlichen Forschung (Gilbert und Troitzsch 2005).

Anmerkungen

- 1 Dendrochronologische Datierung 1458-1245 v. Chr., Grabner, et al., 2007.
- 2 ¹⁴C-Daten 9. bis 4. Jahrhundert v. Chr., Stadler, 1999.
- 3 Hallimpact-Projekt, finanziert durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften.
- 4 Spanne der dendrochronologischen Daten der Hölzer aus dem Christian von Tuschwerk.
- 5 Zwei Dinge sind zu beachten: 1) Die Lagerstätte besteht aus einem Ton-Salz-Gips-Gemisch, in dem der Salzanteil sehr hoch ist (durchschnittlich 70 %). Die oben angegebenen Werte sind auf den Abbau eines Kubikmeter abgebauten Gebirges und nicht auf einen Kubikmeter abgebauten Salzes zu berechnen. Für die Gewinnung eines Kubikmeters reinen Salzes muss daher mehr als ein Kubikmeter festes Gebirge abgebaut werden; 2) Berechnungen dieser Art können aufgrund der Befundsituation nur an der Fundstelle Christian von Tuschwerk durchgeführt werden. Die taphonomischen Prozesse in diesem Ausgrabungsbereich sind erforscht (Reschreiter, et al., 2014). Es ist davon auszugehen, dass der Großteil der Betriebsmittel im Abbaurevier zurückgelassen wurde (Reschreiter, et al., 2013). Für die Fundstellen der Nordgruppe und der Ostgruppe ist dies nicht möglich.
- 6 Aufgrund von neuen Ausgrabungsergebnissen und Kernbohrungen ist inzwischen von einer veränderten Minimal-Grundfläche der Abbaukammer im Christian von Tuschwerk auszugehen 25 x 50 m². Hierbei handelt es sich allerdings um die Minimalausdehnung.
- 7 Stand 2008.
- 8 Zu diesen Zahlen sind folgende Punkte anzumerken (im Detail Kowarik, et al., 2012): 1) das Modell rechnet mit reiner Arbeitszeit, d. h. es sind keine Ruhephasen eingeplant, 2) Geschlechter- und Altersklassen wurden nicht berücksichtigt 3) es wurde die notwendige Arbeitskraft für Salzabbau und -transport in der Abbauhalle simuliert, zahlreiche andere Tätigkeiten ober- und untertage sind für den Betrieb des Abbaus notwendig, dies ist nicht Teil der Simulation, 4) die Simulation bezieht sich nur auf eine Abbauhalle, 5) die Zahlen zur Größe der Arbeitsgruppe drücken aus, wie viele Personen mindestens notwendig gewesen wären; hieraus ist nicht automatisch zu schließen, dass lediglich diese Zahl an Personen arbeitete.
- 9 In Anlehnung an den Vortrag von Th. Stöllner „Was ist groß? Aspekte einer prähistorischen Ressourcen-Ökonometrie.“ im Rahmen des interdisziplinären Workshops „Perspektiven einer ökonomischen Archäologie“ an der Ruhr-Universität Bochum vom 22. bis 23. Nov. 2013.
- 10 Holz für Salz. Sparkling Science-Projekt, BMWF, Leitung Hans Reschreiter.

Literatur

- Barth, F.E., 1967. Prähistorische Knieholzschäftungen aus dem Salzberg zu Hallstatt, OÖ. *Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wien*, 96/97, S. 254-272.

- Barth, F.E., 1992. Zu den Tragsäcken aus dem Salzbergwerk Hallstatt. *Archaeologica Austriaca*, 76, S. 121-127.
- Epstein, J., 2008. Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11/4/12. [online]. <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>> [abgerufen am 7. November 2014].
- Grabner, M., Klein, A., Geihofer, D., Reschreiter, H., Barth, F.E. und Wimmer, R., 2007. Bronze Age dating of timber from the salt-mine at Hallstatt, Austria. *Dendrochronologia*, 24, S. 61-68.
- Gilbert, N. und Troitzsch, K.G., 2005. *Simulation for the social scientist*, Glasgow: Bell und Bain.
- Kern, A., 1997. Neue Ausgrabungen auf dem Salzberg in Hallstatt. *Archäologie Österreichs*, 8, Sonderh., S. 58-65.
- Kern, A., 2008. Das Gräberfeld. In: A. Kern, K. Kowarik, A. Rausch, H. Reschreiter, Hrsg. 2008. *Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt*. Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2. Wien: Naturhistorisches Museum, S. 114-154.
- Kowarik, K., 2012. Agents in Archaeology – Agent-based Modelling in Archaeological Research. In: A. Koch, T. Kutzner, T. Eder, Hrsg. 2012. *Geoinformationssysteme*. Beiträge zum 17. Münchner Fortbildungsseminar 2012. Berlin: Wichmann, S. 238-251.
- Kowarik, K., Wurzer, G., Reschreiter, H., Rausch, A. und Totschnig, R., 2009. *Mining with Agents. Agent-based Modeling for the Bronze Age Saltmine of Hallstatt*. Archäologie und Computer Workshop 13, Vienna 2008. Wien: Museen der Stadt Wien.
- Kowarik, K., Reschreiter H. und Wurzer, G., 2012. Modelling Pre-historic Mining. *Mathematical Modelling*, 7(1), S. 17-29.
- Kowarik, K., Reschreiter, H., Klammer, J., Grabner, M. und Winner, G., 2015. Umfeld und Versorgung des Hallstätter Salzbergbaus von der Mittelbronzezeit in die Ältere Eisenzeit. Th. Stöllner, K. Oeggl, Hrsg. 2015. *Bergauf Bergab. 10000 Jahre Bergbau in den Ostalpen*. Wissenschaftlicher Beiband zur Ausstellung Bochum und Bregenz. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 207. Rahden/Westf.: Marie Leidorf, S. 309-318.
- Premo, L. S., 2010. Equifinality and explanation: The role of agent-modelling in post-positivist archaeology. In: A. Costopoulos, M. Lake, Hrsg. 2010. *Simulating Change. Archaeology into the twenty-first century. Foundations of Archaeological Inquiry*. Salt Lake City: The University of Utah Press, S. 28-37.
- Pany, D., 2005. "Working in a saltmine..." - Erste Ergebnisse der anthropologischen Auswertung von Muskelmarken an den menschlichen Skeletten aus dem Gräberfeld Hallstatt. In: R. Karl, J. Leskovar, Hrsg. 2005. *Interpretierte Eisenzeiten – Fallstudien, Methoden, Theorie*. 1. Linzer Gespräche zur interpretativen Eisenzeitarchäologie. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich, 18. Linz: Land Oberösterreich/Oberösterreichisches Landesmuseum, S. 1-12.
- Pany-Kucera, D., Reschreiter H. und Kern, A., 2010. Auf den Kopf gestellt? – Überlegungen zu Kinderarbeit und Transport im prähistorischen Salzbergwerk Hallstatt. *Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wien*, 140, S. 39-68.
- Pucher, E., Barth, F. E., Seemann, R. und Brandstätter, F., 2013. *Bronzezeitliche Fleischverarbeitung im Salzbergtal bei Hallstatt*. Mitteilungen der Prähistorischen Kommission, 80, Wien: Austrian Academy of Sciences.
- Reschreiter, H. und Barth, F.E., 2005. Neufund einer bronzezeitlichen Holzstiege im Salzbergwerk Hallstatt. *Archäologie Österreichs*, 16(1), S. 27-32.
- Reschreiter H. und Kowarik, K., 2015. Die prähistorischen Salzbergwerke von Hallstatt. In: Th. Stöllner, K. Oeggl, Hrsg. 2015. *Bergauf Bergab. 10000 Jahre Bergbau in den Ostalpen*. Wissenschaftlicher Beiband zur Ausstellung Bochum und Bregenz. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 207. Rahden/Westf.: Marie Leidorf, S. 289-296.
- Reschreiter, H., Grömer, K. und Totschnig, R., 2009. Reich im Grab – Sparsam in der Grube, Überlegungen zum Ressourcenmanagement im ältereisenzeitlichen Salzbergwerk Hallstatt. In: R. Karl, J. Leskovar, Hrsg. 2009. *Interpretierte Eisenzeiten – Fallstudien, Methoden, Theorie*. 3. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich, 18, Linz: Land Oberösterreich/Oberösterreichisches Landesmuseum, S. 307-320.
- Reschreiter, H., Pany-Kucera, D. und Gröbner, D., 2013. Kinderarbeit in 100 m Tiefe? Neue Lebensbilder zum prähistorischen Hallstätter Salzbergbau. In: R. Karl, J. Leskovar, Hrsg. 2013. *Interpretierte Eisenzeiten – Fallstudien, Methoden, Theorie*. 5. Linzer Gespräche zur interpretativen Eisenzeitarchäologie. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich, 37. Linz: Land Oberösterreich/Oberösterreichisches Landesmuseum, S. 25-38.
- Reschreiter, H., V. Miller, D., Gengler, C., Kalabis, S., Zangerl, N., Fürhacker, R. und Grabner, M., 2014. Aus dem Salz ins Depot. Organische Funde aus den prähistorischen Bergwerken von Hallstatt. *Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege*, 68,3/4, S. 354-367.
- Schumann, R., 2013. *Traunkirchen während der Hallstattzeit. Nach Grabungen des Bundesdenkmalamtes und Begehungen im Bereich des ehemaligen Klosters von Traunkirchen, PB Gmunden, Oberösterreich*. Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie, 225. Bonn: Habelt.
- Stadler, P., 1999. Aktueller Stand der verschiedenen Gruppen des urgeschichtlichen Bergbaus und eines Blockbaus in Hallstatt aufgrund von 14C-Daten. *Annalen des Naturhistorischen Museums Wien*, 101 A, S. 69-80.
- Stöllner, Th., 1996. *Die Hallstattzeit und der Beginn der Latènezeit im Inn-Salzach-Raum: Katalog- und Tafelteil*. Archäologie in Salzburg, 3(2), Salzburg: Salzburg Museum.
- Stöllner, Th., 2002. *Die Hallstattzeit und der Beginn der Latènezeit im Inn-Salzach-Raum: Auswertung*. Archäologie in Salzburg, 3(1), Salzburg: Salzburg Museum.
- Stöllner, Th., 2006. Montanproduktion und Siedlungsstrukturen der Eisenzeit: Ausblick auf den Stand der Forschung. In: S. Brüggerhoff, M. Farenkopf, W. Geerlings, Hrsg. 2006. *Montan- und Industriegeschichte. Dokumentation und Forschung. Industriegeschichte und Museum*. Festschrift für Rainer Slotta zum 60. Geburtstag. Paderborn u.a.: Schöningh, S. 105-127.
- Stöllner, Th., 2007. Siedlungsdynamik und Salzgewinnung im östlichen Oberbayern und in Westösterreich während der Eisenzeit. In: J. Prammer, Hrsg. 2007. *Siedlungsdynamik und Gesellschaft*. Beiträge des internationalen Kolloquiums zur keltischen Besiedlungsgeschichte im bayerischen Donauraum, Österreich und der Tschechischen Republik, 2.-4. März 2006 im Gäubodenmuseum Straubing. Straubing: Historischer Verein für Straubing und Umgebung, S. 313-362.