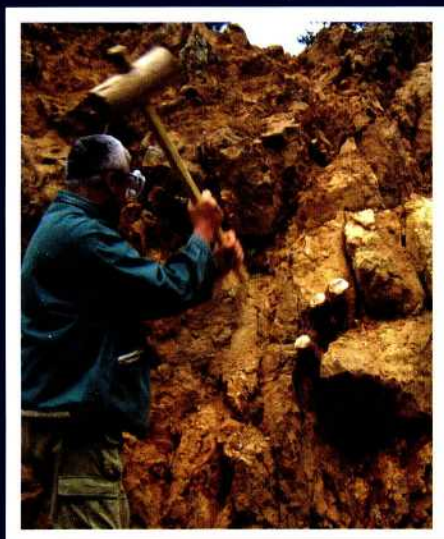


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE

in Europa

BILANZ 2014



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
BILANZ 2014
Heft 13

Herausgegeben von Gunter Schöbel
und der Europäischen Vereinigung zur
Förderung der Experimentellen
Archäologie / European Association for
the advancement of archaeology by
experiment e.V.

in Zusammenarbeit mit dem
Pfahlbaumuseum Unteruhldingen,
Strandpromenade 6,
88690 Unteruhldingen-Mühlhofen,
Deutschland



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE
IN EUROPA
BILANZ 2014



Unteruhldingen 2014

Gedruckt mit Mitteln der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V.

Redaktion:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller, Erica Hanning, Brigitte Strugalla-Voltz
Textverarbeitung und Layout:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Bildbearbeitung:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Umschlaggestaltung:	Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder: W. F. A. Lobisser/VIAS, S. Rusev, P. Georgiev

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie, detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar unter: <http://dnb.dbb.de>

ISBN 978-3-944255-02-6

© 2014 Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V. - Alle Rechte vorbehalten
Gedruckt bei: Beltz Bad Langensalza GmbH, 99947 Bad Langensalza, Deutschland

Inhalt

<i>Gunter Schöbel</i> Vorwort	8
 Experiment und Versuch	
<i>Bente Philippsen</i> Scherben scheibenweise – Röntgen- und Neutronentomographie von experimenteller und archäologischer Keramik	10
<i>Anja Probst</i> „Knochenjob“ – Untersuchungen zu Gebrauchsspuren an jung- und endneolithischen Knochenwerkzeugen	18
<i>Hristo Popov, Zdravko Tsintsov, Albrecht Jockenhövel, Plamen Georgiev</i> Feuersetzen beim Abbau der goldhaltigen Quarzgänge im spätbronzezeitlichen Goldbergwerk auf dem Ada Tepe, Südbulgarien	27
<i>Ruslan Stoychev, Petya Penkova, Margarita Grozeva</i> Practical challenges of archaeometallurgy of gold found in the Thracian gold mine at Ada Tepe, Southeast Bulgaria – Analytical approaches and experimental reconstructions	45
<i>Franz Georg Rösel</i> Kochen mit hallstattzeitlichen Keramikgefäßen	59
<i>Hannes Lehar</i> Mit moderner Technik Probleme bei der Rekonstruktion antiker Technik lösen? – Ein Besuch in Carnuntum	70
<i>Rüdiger Schwarz</i> Römische Ziegelproduktion an der Saalburg in der Praxis nachvollzogen	83

Rekonstruierende Archäologie

Wolfgang F. A. Lobisser

Wissenschaftliche Fragestellungen zum Aufbau eines frühneolithischen Hausmodells im Sinne der Experimentellen Archäologie im Urgeschichtemuseum Asparn an der Zaya in Niederösterreich 97

Hans Joachim Behnke

Muschelschalenpailletten der Schnurkeramik – Wer war zuerst da: die Paillette oder ihr Loch? 111

Helga Rösel-Mautendorfer

Möglichkeiten der Rekonstruktion eisenzeitlicher Frauentracht mit zwei und drei Fibeln 119

Thomas Flügen, Thomas Lessig-Weller

Die Bogenbewaffnung des Keltenfürsten vom Glauberg – Vom Befund zur Rekonstruktion 129

Alexandra Schubert, Tobias Schubert

Funktionale Gedanken zur merowingischen Frauentracht 144

Claus-Stephan Holdermann, Frank Trommer

Zum Fertigungsprozeß von „Bergeisen“ im spätmittelalterlichen/frühneuzeitlichen Bergbaubetrieb am Schneeberg, Moos in Passeier/Südtirol 153

Vermittlung und Theorie

Thomas Lessig-Weller

Zwischen Fakt und Fiktion – Überlegungen zur Rekonstruierenden Archäologie 166

Fabian Brenker

Living History und Wissenschaft – Einige Überlegungen zur jeweiligen Methode, deren Grenzen und Möglichkeiten der gegenseitigen Ergänzung 177

<i>Stoycho Bonev, Tsvetanka Boneva, Severina Yorgova, Stoyan Bonev</i> 3D reconstruction and digital visualization of the south of the Royal Palace in Great Preslav	187
<i>Sylvia Crumbach</i> Mit dem Webstuhl in die Vorzeit! Textilforschung und Rekonstruktion textiler Techniken in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit Ausblick auf die Folgen am Beispiel Brettchenweben	194
Kurzberichte, Jahresbericht und Autorenrichtlinien	
<i>Rüdiger Schwarz</i> Kerzen mit Binsendocht und römische Kerzenhalter	205
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2013	207
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	214

Feuersetzen beim Abbau der goldhaltigen Quarzgänge im spätbronzezeitlichen Goldbergwerk auf dem Ada Tepe, Südbulgarien

Hristo Popov, Zdravko Tsintsov, Albrecht Jockenhövel, Plamen Georgiev

Summary – The use of firesetting for ore extraction from gold-bearing quartz veins in the Late Bronze Age mine at Ada Tepe, South Bulgaria. *Khan Krum gold deposit is located on Ada Tepe hill near present-day Krumovgrad in the Eastern Rhodope Mountains, South Bulgaria. It was established that the deposit was mined in the second half of the 2nd millennium BC and that in the same time parts of the hill were inhabited. Along with field work in 2011 and 2012, the archaeological team organized an experimental sideline of the research project that was carried out in several successive stages. The goal was to create a plausible reconstruction of the chaîne opératoire of the prehistoric gold mining at Ada Tepe.*

One of the major problems that were examined in the course of the archaeological experiment was the use of fire for working the gold-bearing quartz veins. In the autumn of 2011, for the purposes of the archaeological experiment, ore was extracted from a preselected rich gold-bearing quartz vein. The field work was organized in several stages: 1. Exposing the vein by means of replicas of ancient wooden and stone tools; 2. Sustained heating of the vein by fire at a temperature of over 750°C; 3. Cooling; 4. Extraction; 5. Selecting rich ore material for the successive technological stages. After the firesetting, the changes in the state of the sedimentary rock were observed. The samples were compared to materials from actual Late Bronze Age waste dumps.

Some interdisciplinary methods were also applied for further elucidation of the changes that occur in the sedimentary rocks in result of high temperatures. Important regularities were established by means of DTA-TG-analyses (Differentialthermale Analysen) for the correlation of the actual rock waste with the obtained during the experiment.

Einleitung

Die Goldlagerstätte „Han Krum“ ist auf der Anhöhe Ada Tepe südwestlich der heutigen Stadt Krumovgrad in den Osthropen, Südbulgarien, gelegen. Nach ihrer Entdeckung erfolgten intensive geologische Terrainuntersuchungen in den letzten 15 Jahren, bei welchen ihre

geologisch-mineralogischen Charakteristika grundsätzlich geklärt wurden (ŽELEV, HASSON 2002; MARCHEV ET AL. 2004; ŽELEV 2007; MARTON 2009). Aufgrund der sehr vielversprechenden Ergebnisse hat das internationale Unternehmen Dundee Precious Metals eine Konzession zum Abbau der gesamten Lagerstätte beantragt und erhalten. Das gab den Anlass dafür, in

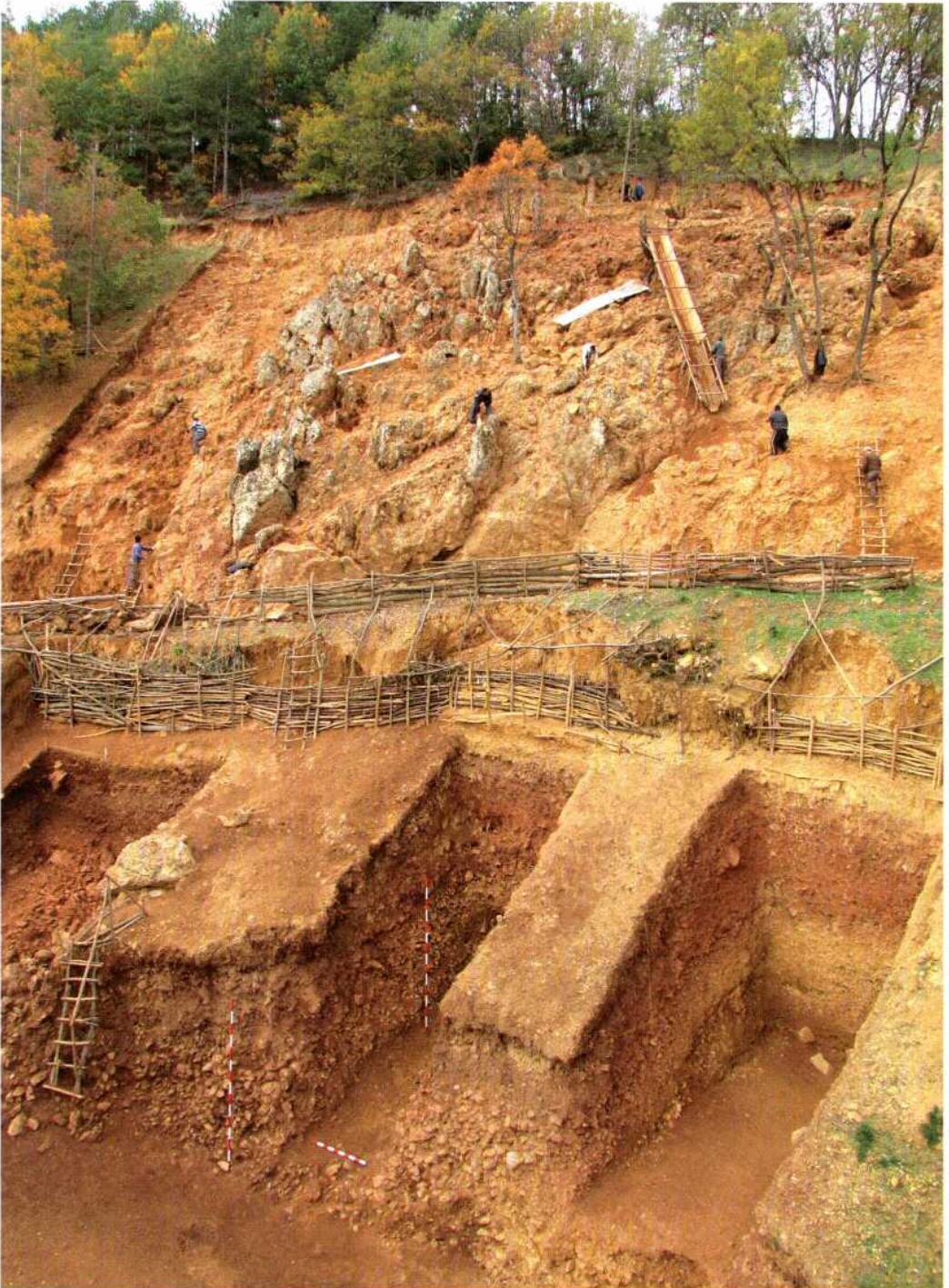


Abb. 1: Osthänge von Ada Tepe. Notgrabungen in den Sektoren, wo Spuren von Tagebauaktivitäten und mit ihnen verbundene Halden mit Gesteinsabfall lokalisiert wurden. – The eastern slopes of Ada Tepe. Rescue investigations of areas of open mining and waste dumps of rock debris below them.

den hohen Bereichen von Ada Tepe großflächige archäologische Forschungen durchzuführen. Sie begannen zunächst auf dem Gipfel mit der Ausgrabung eines kleinen thrakischen Heiligtums, das von Dr. Georgi Nehrizov am Anfang der 1990er-Jahre entdeckt und letztlich in der Zeit von 2000 bis 2006 untersucht wurde (NEKHRIZOV, TZVETKOVA im Druck). Doch bekamen die Rettungsgrabungen ein anderes, viel größeres Ausmaß, als deutlich wurde, dass in den hohen Bereichen des Gipfels zahlreiche Spuren von alten Bergbauaktivitäten existierten. Mit den Kräften einer kleinen deutsch-bulgarischen Forschungsmannschaft wurde im Rahmen eines von der AvH Stiftung unterstützten Projekts in den Jahren 2008-2009 die gesamte Fläche der Anhöhe montanarchäologisch zielgerichtet prospektiert (POPOV u. A. 2011, 271-281; POPOV, JOCKENHÖVEL, GROER 2011, 117-124). Dank der klaren Terrainergebnisse wurden in der Zeit von 2010 bis 2013 im Rahmen des Verursacherprinzips Rettungsgrabungen auf der gesamten Fläche des Gipfels und der hohen Hänge von Ada Tepe realisiert. Während der langfristigen Grabungskampagnen wurden in weiten Bereichen mehrere Funde und Befunde freigelegt (Abb. 1). Man kann sie mit primärem Abbau, Sortieren, Erzaufbereitung und Siedlungstätigkeit der Bevölkerung, die damals den Goldbergbau auf dem Ada Tepe praktiziert hat, verbinden. Beim heutigen Stand der Forschung geben die absoluten und relativen Daten für den alten Goldbergbau eine Datierung von der Mitte des 2. Jts. v. Chr. bis zum Anfang des 11. Jhs. v. Chr. an. Die Besiedlung (mit mehreren Phasen) begann mit dem Anfang des Bergbaus, aber sie setzte sich bis zu den ersten zwei Jahrhunderten des 1. Jts. v. Chr. fort. Das zu Beginn der archäologischen Forschungen untersuchte Heiligtum stellt eigentlich den spätesten (bis auf moderne Zeiten) Nachweis für eine menschliche Präsenz auf dem Gipfel dar. Es wird da-

tiert in die letzten 3 Jahrhunderte des 1. Jts. v. Chr. (POPOV, JOCKENHÖVEL 2010, 271-279; POPOV, NIKOV 2013, 118).

Parallel mit den Notgrabungen hat die Forschungsmannschaft einen experimentellen Teil des gesamten Projekts entwickelt. Während der Kampagnen 2011 und 2012 wurden einige aufeinanderfolgende Etappen durchgeführt. Die experimentelle Archäologie auf dem Ada Tepe war folgenden Themen gewidmet:

- Primärer Bergbau
- Erzaufbereitung
- Goldwaschen
- Metallurgie

Es war notwendig, durch die experimentelle Archäologie mehrere Informationen über die verschiedenen technologischen Etappen des spätbronzezeitlichen Bergbaus und der Metallurgie auf dem Ada Tepe zu erhalten. Dabei erfolgte gezielt die Verifizierung von mehreren während der konventionellen Feldforschung gewonnenen Informationen und ihre Korrelation mit den experimentell-archäologisch erworbenen empirischen Daten.

Insgesamt bestand die Hauptaufgabe des experimentellen Teils des Projekts im Erstellen einer plausiblen Rekonstruktion der gesamten technologischen Kette (chaîne opératoire) des prähistorischen Goldbergbaus auf dem Ada Tepe. Nicht an letzter Stelle wurde geplant mit der Hilfe der experimentellen Archäologie eine gewisse Menge Gold den künftigen archäometrischen Untersuchungen im gesamten Projekt zur Verfügung zu stellen.

Der vorliegende Text stellt einen großen Teil der ersten Etappe der archäologischen Experimente auf dem Ada Tepe dar, bei welchem verschiedene Arbeitsverfahren im Prozess des primären Erzabbaus überprüft wurden.

Problematik

Am Anfang der montanarchäologischen

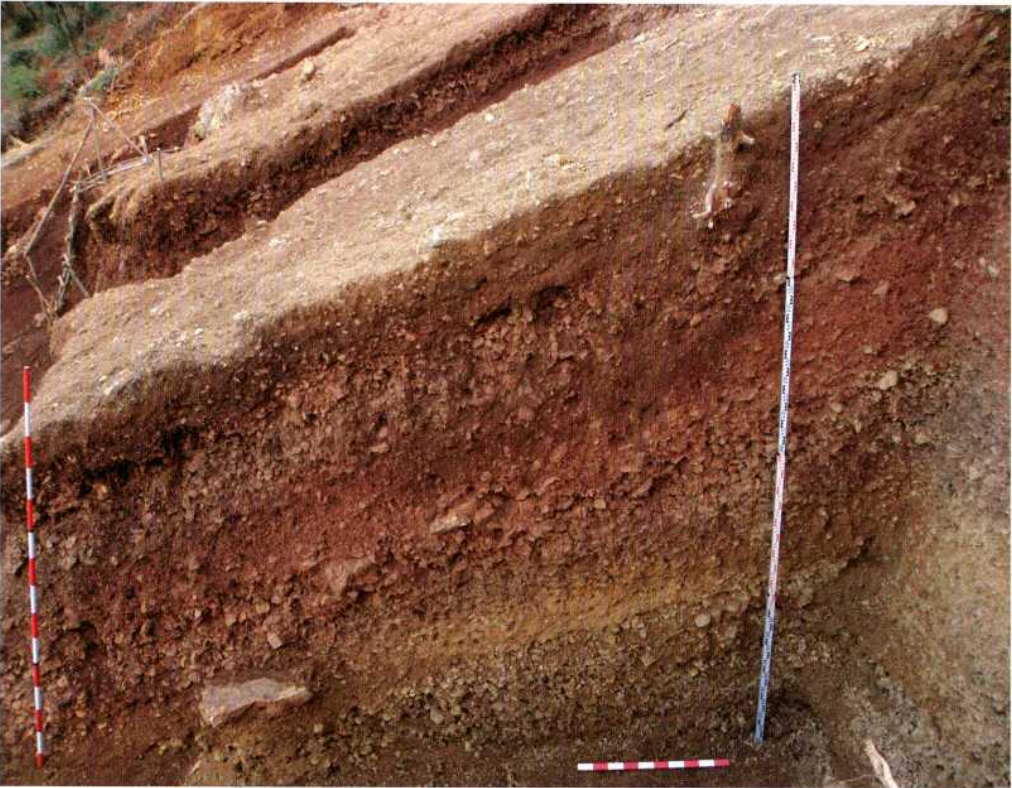


Abb. 2: Stratigraphischer Schnitt einer Schutthalde im Bereich der Osthänge. Sektor J-9. Die Schichten, die sich vermutlich mit Feuersetzung und Bergbauaktivitäten verbinden lassen, weisen eine rotbraune Farbe auf. – Stratigraphic section of a waste dump on the eastern slopes of Ada Tepe, Sector J-9. The strata of debris, related to mining by fire, are of red-brownish colour.

Untersuchungen bei den Schnittgrabungen im Jahr 2009 und später während der Ausgrabungen in den Kampagnen 2010-2013 wurde festgestellt, dass Aufschichtungen in den mit dem primären Abbau verbundenen Schutthalden regelmäßig eine stark ausgeprägte rotbraune Färbung aufweisen (Abb. 2). Ein großer Teil des in den zahlreichen Schutthalden liegenden technologischen Gesteinsabfalls hatte veränderte Farbcharakteristika. Ähnliche Regelmäßigkeiten wurden auch bei mehreren Befunden erkannt, die mit der Erzaufbereitung im Zusammenhang stehen. Dort hat der stark fragmentierte (gepochte) Gesteinsabfall ähnliche Farbcharakteristika (Abb. 3). Die Goldlagerstätte „Han Krum“ ist epithermal und niedrig sulfid.

Die Vererzung tritt in Sedimentgesteinen mit vorwiegend gelber bis beige und hellbrauner Farbe auf (Abb. 4; 6). Die verschiedenen Sedimentgesteine auf dem Ada Tepe (Brektschen, Brektschenkonglomerate, Sandsteine) haben vorwiegend eine gelbe bis beige und hellbraune Farbe (Abb. 4; 6).

Der Unterschied in der Farbe der anthropogen unberührten Sedimentgesteine und der Aufschichtungen in den Schutthalden ist augenfällig. Er ist nicht durch Verwitterungsprozesse bedingt. Diese erzeugen andere Farbveränderungen – graue, helle gelbgraue Nuancen –, die in den oberflächlichen Bereichen der Schutthalden und bei den anthropogen nicht veränderten Felsen an der Oberflä-



Abb. 3: Stark fragmentierter Gesteinsabfall von sekundärer Erzaufbereitung. Sektor I-5, hohe Nordosthänge von Ada Tepe. Neben dem Maßstab sieht man in situ einen Quarzitklopfstein, welcher für die Zerkleinerung und das Zerstoßen des Erzes genutzt wurde. – Finely crushed rock waste from secondary processing of the ore. Sector I-5, high northeastern slopes of Ada Tepe. Next to the scale, there is a quartzite pestle used for crushing and grinding the ore.

che sehr gut zu erkennen sind. Die Hypothese, dass die rotbraune Verfärbung an natürlichen Erosionsprozessen bei hydrothermal veränderten Quarzgängen und daneben liegenden Sedimentgesteinen liegen könnte, ist auch nicht plausibel. Die Lagerstätte ist über 34 Millionen Jahre alt (MARCHEV, SINGER 2002). Die mit Erosionsmaterial eingefüllten natürlichen Senken, die an mehreren Stellen an den Osthängen untersucht wurden, haben ihrerseits wieder gelbe und gelbbraune Aufschichtungen gezeigt, die den natürlichen Farben der Sedimentgesteine auf dem Ada Tepe sehr ähnlich sind. Vielmehr sind die Konzentrationen der rotbraun gefärb-

ten Aufschichtungen wohl in den Schutthalden nah den Bergbaubefunden in Schichten zu beobachten, die eindeutig mit Resten von anthropogenen Aktivitäten in Zusammenhang stehen. Aufgrund der Grabungsergebnisse und der festgestellten Regelmäßigkeiten wurde die Arbeitshypothese entwickelt, dass diese morphologisch gut erkennbaren rotbraunen Aufschichtungen durch Anwendung von Feuerstein im Prozess des primären Bergbaus oder der Erzaufbereitung entstanden. In diesem Zusammenhang ist eine weitere Beobachtung von Interesse, denn neben einigen untersuchten Pingen an den Osthängen findet sich sehr oft



Abb. 4: Der für die Durchführung des Experiments ausgewählte goldhaltige Quarzgang. – Gold-bearing quartz vein, selected for the experiment.

rundherum rot gefärbter verziegelter Lehm.

Das Feuersetzen ist als Methode im alten Bergbauwesen gut bekannt (CRADDOCK 1992, 145-150; WEISGERBER, WILLIES 2001; DOMERGUE 2008, 110; aktuell erschienen eine gute Übersicht bei STÖLLNER U. A. 2012, 65-67). Es wird von verschiedenen antiken Autoren erwähnt. So spricht Diodorus über das Feuersetzen beim Goldbergbau in Ägypten (Diod. III,12,4). Als eine Methode, die wohl zur Zerstörung von Gestein dient, wurde es von Livius bei der Schilderung (Liv. XXI,37) von Hannibals Alpenüberquerung genannt. Plinius der Ältere erwähnt auch das Feuersetzen und das Löschen der erhitzten Gesteine mit Essig (Nat. Hist. 33,71).

Auch in neueren Zeiten gibt es genügend Quellen, in denen dieses Verfahren be-

schrieben ist. Georg Agricola berichtet im fünften Buch seiner De Re Metallica (Agricola, 89-90) über verschiedene Fälle, bei welchen das Feuersetzen anwendbar ist.

Archäologisch ist die Methode bei verschiedenen Feldforschungen erkannt. Obwohl sie nicht immer bei den Untersuchungen von alten Bergbaubefunden belegt ist (WEISGERBER, WILLIES 2001, 132), war sie Jahrtausende lang wichtige Bergbauexplorationsmethode. Im vorliegenden Text nennen wir nur einige von mehreren möglichen Beispielen.

Hinweise auf Feuersetzen konnten an den Kupferbergwerken in Mount Gabriell, Irland (O'BRIEN 1994, 165-171, fig. 76-77), oder dem ältesten heute bekannten Goldbergwerk in Sakdrissi, Südgeorgien (STÖLLNER, GAMBASCHIDZE, HAUPTMANN 2008, 275; STÖLLNER, GAMBASCHIDZE 2011,

192), gefunden werden. Diese beiden Beispiele sind sicher gute Parallelen. Sie beziehen sich auf die älteren Phasen der Bronzezeit und veranschaulichen, dass die Feuersetzungs- und Hammerarbeiten typische prähistorische Bergbauexplorationsmethoden sind. Bergbau in Ada Tepe wurde fast über den gesamten Abschnitt der Spätbronzezeit betrieben – es handelt sich also um eine Zeit, in welcher dieses Arbeitsverfahren seit Langem wohl bekannt sein müsste. Sakdrissi bietet auch nähere Vergleichsmöglichkeiten für uns an, weil es in diesem Fall wieder um Goldbergbau geht (STÖLLNER U. A. 2012). Für unsere Forschungsmannschaft war wichtig, zusätzliche empirische Informationen darüber zu erhalten, inwieweit das Feuersetzen bei den für Ada Tepe charakteristischen Vererzungen und beiliegenden Sedimentgesteinen anwendbar ist. Es war notwendig, die Veränderungen im Gestein beim Prozess des Feuersetzens zu verfolgen. Andere Aufgaben bestanden in der Überprüfung der aufgrund der Feldforschungen entwickelten Arbeitshypothesen. Wie oben gesagt, „Han Krum“ ist epithermal und niedrig sulfid. In Bezug auf die konkreten geologisch-mineralogischen Charakteristika der Goldlagerstätte „Han Krum“ und auf die zahlreichen während der Notgrabungen akkumulierten Daten war es notwendig, größere praktische Erfahrung für die unterschiedlichen Schritte im gesamten technologischen Prozess zu sammeln.

Experiment

Der experimentellarchäologische Erzabbau wurde vom 28. September bis zum 1. Oktober 2011 im Sektor G-10 des archäologischen Objekts durchgeführt. Für die Realisierung wurde ein goldhaltiger Quarz-Adular-Gang ausgewählt, der nahe dem Gipfel während der geologischen Prospektionen freigelegt wurde (Abb. 4). Unmittelbar südlich und nordöstlich die-

ses Quarzgangs wurden am Gipfel und auf den hohen Osthängen von Ada Tepe einige der ältesten Spuren von Bergbauaktivitäten aus der Spätbronzezeit beobachtet und ausgegraben.

Die Stärke der Erzgänge auf dem Ada Tepe variiert zwischen 0,1 m und 0,8 m. Das Elektrum (Au-Ag alloy) ist die grundsätzliche Erzphase, welche in der Lagerstätte eine wirtschaftliche Bedeutung besitzt. Sporadisch ist Pyrit zu beobachten (pyrite/FeS₂), welcher teilweise in Goethite (goethite/(-FeOOH) transformiert ist. Die mineralogischen Untersuchungen zeigen, dass ungefähr 90% der Elektrumkörner eine Größe in den Grenzen zwischen 3-12 Mikrometern und 65-75 Mikrometern aufweisen. Selten ist eine Korngröße zwischen 50 Mikrometern und 180 Mikrometern anzutreffen.

Manchmal ist das Elektrum in dünnen Adern oder Nestern mit sehr hohen Konzentrationen (sogenannten Bonanzas (bonanza)) abgelagert. Unsere eigenen chemischen Analysen zeigen, dass die durchschnittlichen Werte in einigen der senkrechten Erzgänge in der sogenannten „oberen Zone“ der Lagerstätte sehr oft Goldgehalte von >0.5 kg/t aufweisen. Der ausgewählte Erzgang ist ein typischer Vertreter der senkrechten Erzkörper in der oberen Zone. Der gemessene Anteil der Au-Ag-Mineralisationen des Bonanzatyps erreichte in einigen Bereichen 7.899 kg/t. Die Werte sind enorm hoch, aber man sollte bedenken, dass beim damaligen Abbau und bei dieser Korngröße des Elektrums wahrscheinlich auch beträchtliche Materialverluste eintraten.

Die ersten zwei Tage waren der Logistik und den vorbereitenden Maßnahmen gewidmet: 1. Sammeln von Holzmaterial, 2. Herstellung von Holz- und Steinwerkzeugen, 3. Versorgung mit Wasser, 4. Roden des Buschwerks im Umfeld des Erzgangs. Mit diesen Tätigkeiten war eine kleine Arbeitsgruppe von 4-5 Personen beschäftigt.



Abb. 5: Zerschlagen der Sedimentgesteine im Bereich des Quarzgangs. Arbeit mit Nachbildungen von Holzwerkzeugen: a. Aufkeilen; b. Abspalten von Gesteinsblöcken. – Breaking the sedimentary rocks around the quartz vein, using replicas of wooden tools: a. Driving in wedges; b. Breaking off stone blocks.

Das für das Experiment genutzte Brennholz besaß eine gemischte Qualität. Neben trockenem Fallholz aus dem umliegenden Wald wurde frisch abgehacktes Material von den regelmäßigen Rodungen der Grabungsflächen auf dem Ada Tepe verwendet. Das Holz stammte von Laubbäumen – Eiche und Akazie. Die letztgenannte Art ist für die Ada-Tepe-Flora neu (die letzten 40 Jahre). Unsere paläobotanischen Forschungen zeigen jedoch, dass Eiche der hauptsächlich vorkommende Laubbaum in der Mikroregion des Ada Tepe während der Bronze- und Eisenzeit war. Damit unterschied sich das genutzte Brennholz kaum von dem in der damaligen bronzezeitlichen Landschaft vertretenen. Die Stärke des Holzmaterials war ebenfalls gemischt – Äste, armdicke Stämme und Stämme mit einem Durchmesser bis zu 0,20 m. Die Herstellung von Werkzeugnachbil-

dungen erfolgte als nächstes. Die Hammerwerkzeuge und ihr Einsatz im prähistorischen Bergbau sind in den letzten Jahrzehnten oft analysiert worden (CRADDOCK 1994; WEISGERBER, WILLIES 2001, 137; OTTAWAY 2003, 342). Die traditionelle Kombination von Feuersetz- und Hammergeotechniken in verschiedener Reihenfolge ist ebenfalls kommentiert. Verschiedene Varianten von Hammerwerkzeugen und -techniken wurden bei einem Experiment im Sakdrissi-Projekt erprobt (STÖLLNER U. A. 2012, 71-72). Für das Ada Tepe-Projekt ist die vielfältige Problematik der beim Abbau und der Erzaufbereitung genutzten Gesteinswerkzeuge auf jeden Fall wichtig. Mehrere Fragen (insbesondere welche Gesteinswerkzeuge für den primären Abbau genutzt wurden) erfordern eine weitere detailliertere Untersuchung und wahrscheinlich neue Experimente[1]. Doch hatten für die Mannschaft bei die-



Abb. 6: Die Sedimentgesteine beim südlichen (links auf dem Foto) Bereich des Erzgangs wurden entfernt, damit das Feuer möglichst nah am Gang angezündet werden konnte. – Sedimentary rocks at the southern side (to the left on the photograph) of the quartz vein are removed in order to build a fire as close as possible.

sem Experiment die Fragen zur Effektivität und den Einwirkungsspuren des Feueresetzens auf das Sedimentgestein und die hydrothermalen goldhaltigen Quarzgänge von Ada Tepe Priorität.

Soweit es um das beim Feuersetzen genutzte Bergbauinstrumentarium geht, sollte dieser Themenbereich zusätzlich etwas detaillierter auch aus einem anderen Blickwinkel betrachtet werden. In den letzten Jahren verfügen wir dank der erfolgreichen Erforschung des spätbronzezeitlichen Salzbergbaus bei Băile Figa in Rumänien über sehr genaue Informationen zum vielfältigen Bestand an Holzgeräten (HARDING, KAVRUK 2011). Die von A. Harding und seiner Mannschaft freigelegten Holzwerkzeuge und Anlagen geben

einen wesentlich breiteren Überblick zu dem damals genutzten Instrumentarium. Natürlich sind die rumänischen und ungarischen Funde mit Salzbergbau verbunden. Aber einige Terrainergebnisse, die Charakteristika der Gesteine im Sedimentkomplex und die Besonderheiten des Reliefs geben Grund zu der Annahme, dass auch in unserem Fall Holzwerkzeuge und aus Holz aufgebaute Anlagen eine wichtige Rolle gespielt haben dürften.

Deswegen lag ein Schwerpunkt bei unserem Experiment auf der Überprüfung der Effektivität verschiedener Holzwerkzeuge bei dem mit Feuersetzen verbundenen Erzabbau. Mehrere der hergestellten Holzwerkzeuge waren Kopien von spät-



Abb. 7: Prozess langfristiger Erhitzung des goldhaltigen Quarzgangs: a. Unterhalten des Feuers in der Nacht; b. Endsituation nach dem Abbrechen der Erhitzung. – Heating the gold-bearing quartz vein: a. Maintaining the fire through the night; b. The final situation after discontinuing the heating.

bronzezeitlichen Instrumenten, die in den letzten Jahren publiziert wurden (HARDING, KAVRUK 2011, fig. 24; 28; HARDING, SZEMÁN 2011, fig. 8). Es handelt sich vor allem um Hämmer sowie verschiedene Formen von Schlägeln und Hacken. Zusätzlich wurden mehrere Holzkeile, Hebel und Hebelbäume gefertigt. Für das Abschrecken des erhitzten Gesteins wurden fast 300 l Wasser oben auf dem Gipfel bereitgestellt.

Das eigentliche Abbauxperiment startete am Morgen des 30. September 2011 (Abb. 4). Zunächst wurde die Gesteinsoberfläche neben dem ausgewählten Quarzgang bearbeitet. Mithilfe von Aufkeilen, Abspalten und Hebeltechniken (Abb. 5) wurde ein großer Teil der Nebengesteine südlich des Erzgangs entfernt. Eine Arbeitsgruppe aus 8 Personen trug in 6 Arbeitsstunden ungefähr 3,5-4 m³ Sedimentgestein ab. Die während dieses Arbeitsabschnitts gesammelte Erfahrung zeigte deutlich, dass die auf dem Ada Tepe vertretenen Sedimentgesteine weitgehend eine Bearbeitung mit einfachen Holzwerkzeugen gestatten. Die natürlichen Risse und die Brüchigkeit des Gesteins im Sedimentkomplex bieten Keilen und Hebeln gute Einsatzmöglichkeiten. Der Grund hierfür besteht darin, dass die Brektschen und Sandsteine von tektoni-

schen Brüchen stark aufgespalten sind. Einige dieser Risse haben während der hydrothermalen Prozesse als erzielende Kanäle gedient. Als Ergebnis sind auch die Nebengesteine lokal silifiziert. Aufgrund der tektonischen und hydrothermalen Prozesse sind die Sedimentgesteine auf dem Ada Tepe von mehreren kleinen Rissen durchzogen. Die bei exogenen Bedingungen ablaufenden geologischen Prozesse haben in den folgenden Millionen Jahren das Ausmaß dieses Effekts wesentlich verstärkt. Damit bestehen bei der Goldlagerstätte günstige Voraussetzungen für die Verwendung von einfachen und mit wenig Aufwand einzusetzenden Werkzeugen und Arbeitstechniken beim Abbau. Die von uns genutzten Holzwerkzeuge haben sich als effektiv gezeigt. Es ist zu erwähnen, dass wegen Zeitmangels die Holzkeile nicht mit Wasser (für einen Ausdehnungseffekt) begossen wurden. Die Anwendung dieser Arbeitstechnik sollte die Effektivität noch zusätzlich steigern.

Am Nachmittag wurde der linke (südliche) Bereich des Quarzgangs vom Nebengestein komplett befreit (Abb. 6). Damit konnte das Feuer in unmittelbarer Nähe angezündet werden.

Das Feuer wurde direkt am Quarzgang



Abb. 8: Der nach der Feuersetzung rissig gewordene Felsen. Rechts ist der Quarzgang leicht erkennbar. – Cracked rock after applying the fire method. The quartz vein is clearly seen to the right.

auf einer Fläche von 1-1,2 m² unterhalten. Es wurde von 16:30 Uhr am 30. September bis 8:00 Uhr am 1. Oktober, also 15½ Stunden, während des gesamten Abends und der Nacht unterhalten (Abb. 7).

Bei anderen Experimenten geht man von einer deutlich kürzeren Brenndauer aus. So sprechen O'Brien und Stöllner über eine Anwendung des Feuersetzens von 1-4 Stunden (O'BRIEN 1994, 169, table 10; STÖLLNER U. A. 2012, 71). Ein Grund für diese These soll die Tatsache sein, dass die Bruchtemperatur beim Quarz sehr schnell erreicht wird (WEISGERBER, WILLIES 2001, 134). Andererseits lässt sich aus den schriftlichen Quellen erschließen, dass die Methode manchmal auch deutlich länger angewandt wurde. In der Geschichte der Alpenüberquerung Hanni-

bals bezeugt Livius, dass die Feuer zum Erhitzen tagelang unterhalten wurden. Natürlich war in diesem Fall das Ziel eine bloße Zerstörung des Felsens und kein Abbau. Doch sollte in Bezug auf die Größe der erhitzten Flächen und die Eigenschaften der Nebengesteine in den verschiedenen Fällen eine längere Anwendung des Feuersetzens nicht ausgeschlossen werden.

Im vorliegenden Fall haben wir uns für eine längere Anwendung entschieden: einerseits wegen der etwas größeren freigelegten und erhitzten Fläche neben dem Erzkörper und andererseits wegen der Tatsache, dass ein zweites Ziel des Experiments die detailliertere Beobachtung der Farbveränderungen in den Gesteinstypen von Ada Tepe beim Feuersetzen war.



Abb. 9: Schockabkühlung des erhitzten Felsens mit Wasser. – Shock cooling of the heated rock with water.

Bei der thermalen Bearbeitung der Gesteine wird ihre Zerstörung durch die anisotropen Eigenschaften des Quarzes beschleunigt. Der Quarz ist das am häufigsten anzutreffende nichterzhaltige Mineral in der Lagerstätte „Han Krum“. Als Mineral mit trigonalem System (trigonal system) verfügt er über verschiedene Koeffizienten der Temperaturexpansion in den verschiedenen Achsen (WEISGERBER, WILLIES 2001, 135-136). Als Ergebnis entsteht beim Feuersetzen in seiner Struktur eine starke Spannung. Das Überschreiten bestimmter Temperaturwerte führt zur „explosionsartigen“ Befreiung von kleinen Gesteinsstücken. Im großen Felsblock werden bei diesem Vorgang kleine Risse gebildet. Die Erscheinung wurde von der Forschungsmannschaft während dieser Phase des Experiments beobachtet. Die explosionsartige Zerstörung des Quarzes ließ sich an einem lauten Knall erkennen, bei welchem kleine Geschosse aus Quarzstückchen einige Meter weit von der Feuerstelle wegflogen. Dies passierte nicht nur in den ersten Minuten, sondern dauerte die ersten 7-8 Stunden des Feueretzungsprozesses an. Das könnte bedeuten, dass allmählich mit der Erhöhung der Temperatur im Innern des Felsens der Zerstörungsvorgang nicht nur an der Oberfläche (am Anfang) geschah, son-

dern in der Tiefe weiterging. Ein längeres Erhitzen hat also seinen Sinn. Die beim Erhitzen erreichte Maximaltemperatur lag zwischen 750 und 800 Grad Celsius. Am nächsten Morgen wurde das Unterhalten des Feuers gegen 7:00 Uhr eingestellt. Der Prozess ging zwischen 8:00 Uhr und 8:30 Uhr langsam zu Ende.

Nach dem Feueretzen (vor dem Abschrecken mit Wasser) zeigte sich, dass die Gesteine im Bereich des Erzkörpers von vielen kleinen Rissen durchgezogen waren (Abb. 8). Zum Abschrecken wurden ungefähr 170-180 l Wasser genutzt (Abb. 9). Hier lässt sich festhalten, dass zum Abschrecken und zum Erreichen der Thermalschockeffekte und der zusätzlichen Zerstörung diese ganze Menge nicht nötig war. Ein großer Teil des Wassers wurde einfach zum Abkühlen des erhitzten Felsens genutzt, damit der Abbau schneller beginnen konnte. Zuvor war die Temperatur des Felsens so hoch, dass man sich ihm kaum auf weniger als einen Abstand von 1-1,5 m nähern konnte.

Beim Abbau wurde deutlich festgestellt, dass die Brüchigkeit der Gesteine so groß geworden war, dass man schnell in die Tiefe des Erzkörpers vordringen konnte. Dazu haben sich nicht nur die Stein-, sondern auch einige der Holzwerkzeuge (Hammer, Schlägel, Keile) als sehr effektiv erwiesen. In ungefähr 2,5 Stunden wurden mit einer sich abwechselnden Arbeitsgruppe aus 6 Personen ungefähr 740 kg Gestein abgebaut, von denen 327 kg reiches Erzmaterial aussortiert wurde (Abb. 10).

Nicht nur die Struktur, sondern auch die Farbcharakteristika des Felsens waren eindeutig bis in eine Tiefe von 0,55-0,60 m verändert. Die mit Feueretzen bearbeiteten Gesteine wiesen verschiedene Nuancen von Rot, Rotbraun und Rosarot auf. In der Tiefe hatten die Gesteine wieder ihre normale gelbe bis hellbraune Farbe.

Auf den ersten 0,40 m war der Fels sehr



Abb. 10: Aussortiertes reiches Erzmaterial, das aus dem mit der Feuersetzungsmethode bearbeiteten Bereich abgebaut wurde. – Sorted rich ore material, extracted from the site, treated with fire.

brüchig und man konnte ihn sehr leicht und sogar schnell abbauen. Dann wurde er immer härter und man brauchte deutlich mehr Kraft- und Zeitaufwand. Es lässt sich feststellen, dass die ersten 0,40 m in ungefähr 35-40 Minuten abgebaut wurden. Die nächsten 20 cm (bis zu einer Tiefe von 0,60 m, in welche der Effekt des Feuersetzens reichte) benötigten fast die gesamten übrigen 2 Stunden der Abbau-phase.

DTA-TG Analysen

Zusätzlich wurden für die Analyse der Veränderungen, welche nach dem Feuer-setzen und der Temperatureinwirkung im Sedimentgestein auftreten, unterschiedliche interdisziplinäre Methoden angewandt. Hier nehmen die thermochemi-

schen Untersuchungen eine besondere Stellung ein. Durch die Anwendung von DTA-TG-Analysen (Differentialthermale Analysen) bei der Korrelation des authentischen Abbaufalls, des während des Experiments gewonnenen Materials und des anthropogen unberührten Gesteins wurden wichtige Gesetzmäßigkeiten festgestellt.

Während des archäologischen Experiments haben die Beobachtungen gezeigt, dass bei einer thermalen Einwirkung, die 500°C übersteigt, die Sedimentgesteine ihre primäre Farbe deutlich verändern. Sie wechselt von gelb und hellbeige durch Erhitzen zu rot, rotbraun und rosa. Die ursprünglich gelbe Farbe der Sedimente entsteht durch den Goethit (limonit). Er hat eine Korngröße von <0,1 Mikrometer und ist in den Sedimentgestei-

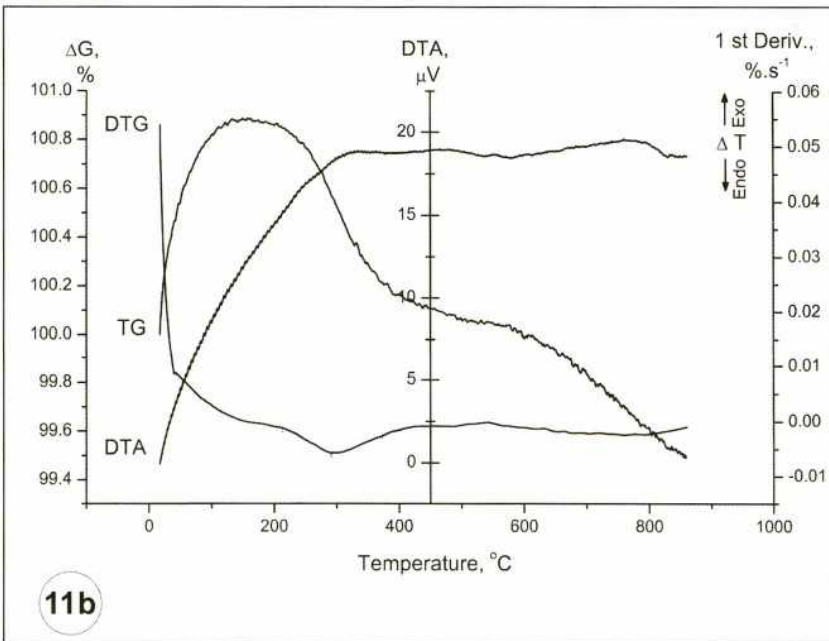
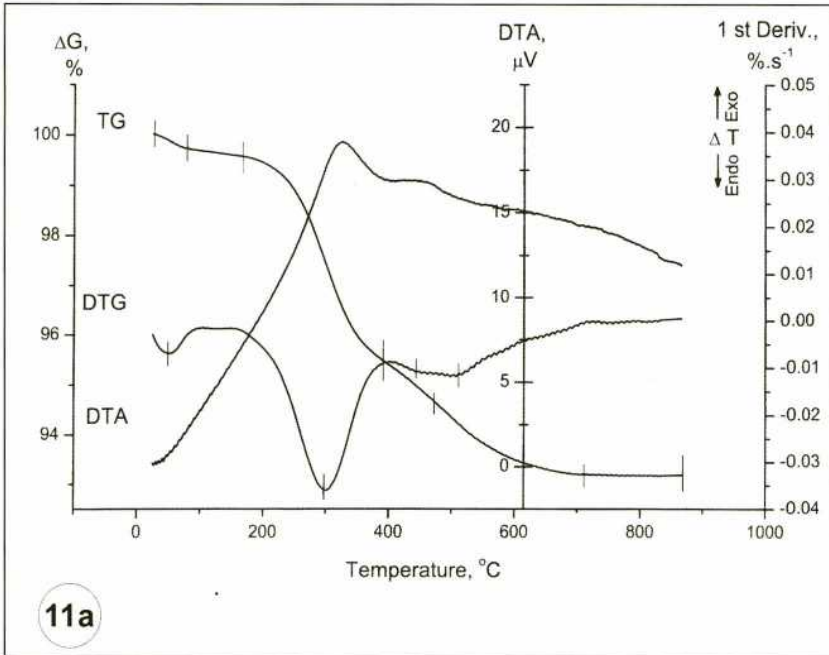


Abb. 11: Kurven differenziell-thermaler Analysen (TG-DTA-DTG) von: a. Thermal nicht bearbeiteten Materialien; b. Thermal bearbeiteten (erhitzten) Materialien. – The curves from the differential thermal analysis (TG-DTA-DTG) of: a. Materials without thermal treatment; b. Thermally treated (heated) materials.



Abb. 12: Korrelation von Gesteinsproben mit Feuersetzungsspuren: a. Originalmuster mit spätbronzezeitlichem Bergbaukontext, Gipfel und hohe Osthänge von Ada Tepe; b. Neue Muster, erzeugt durch das Experiment. – Comparison of rock specimens with traces of fire: a. Ancient specimens from the summit and the high eastern slopes of Ada Tepe, mined in the Late Bronze Age; b. Specimens from the experiment.

nen fein dispergiert. Bei diesen Gegebenheiten ist der Goethit thermodynamisch nicht stabil. Aber die Kinetik der Reaktionen während seiner Transformation ist so langsam, dass er die überwiegende Phase in den Fe-Oxidationsmineralien bleibt und sie gelb und braun färbt (Goss 1987). Laut dem zitierten Autor ist eine solche Transformation vollständig möglich, trotz der langsamen Kinetik (in den Grenzen der geologischen Zeit – Millionen Jahre) der Goethittransformation zu einer stabileren Phase. Das Endprodukt dieser Transformation ist Hämatit. Unsere Beobachtungen während des archäologischen Experiments unterstützen die Schlussfolgerungen von Goss (Goss 1987). Wir vertreten die Meinung, dass die Veränderungen in den Farben der Gesteine auf dem Ada Tepe durch die thermale Einwirkung hervorgerufen werden. Sie verursacht eine Phasentransformation bei den fein dispergierten eisenhaltigen Mineralien zu Hämatit.

Unserer Meinung nach bedingt ein solcher Mechanismus die vorwiegend rote und rotbraune Verfärbung der fragmentierten Sedimentgesteine in den alten Schutthalden.

Diese Schlussfolgerungen werden auch

von dem Vergleich der Unterschiede in den Kurven der differentialthermalen Analysen (TG-DTA-DTG) der beiden betrachteten Sedimenttypen (anthropogen veränderte und anthropogen unveränderte) unterstützt. Die thermal nicht veränderten Materialien zeigen einige spezifische thermalchemische Effekte. Der erste beginnt bei einer Temperatur von 49,4°C und markiert das Ausscheiden des sogenannten Porenwassers (pore water). Der zweite Effekt besteht beim Erreichen von 299°C im Freisetzen der OH-Gruppen von der Struktur des Minerals. Der dritte thermalchemische Effekt beginnt bei einer Temperatur von 509,8°C und setzt sich bis ungefähr 700-710°C fort. Wahrscheinlich spiegelt er den Beginn des Reduktionsvorgangs und die Transformation des Goethits zu Hämatit wider (Abb. 11a). Im Unterschied zu diesen stark ausgeprägten Effekten weisen die thermal veränderten (erhitzten) Materialien relativ ruhige Kurven auf. Sie zeigen keine deutlich ausgeprägten thermalchemischen Effekte, weil diese bereits geschehen sind (Abb. 11b). Dies dürfte mit der anthropogenen Einwirkung durch Feuersetzen während des spätbronzezeitlichen Goldbergbaus verbunden sein.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Für das Experiment zum Feuersetzen im Rahmen des Ada-Tepe-Projekts lassen sich folgende Ergebnisse und Schlussfolgerungen festhalten:

- Das Feuersetzen als Abbaumethode hat sich bei den erzielenden Quarzgängen und bei den stark silifizierten Sedimentnebengesteinen von Ada Tepe als sehr effektiv erwiesen.

- Bei den von tektonischen und natürlichen exogenen Prozessen sehr stark betroffenen Brektschen, Brektschenkonglomeraten und Sandsteinen im oberen Bereich des Gipfels war der Einsatz von verschiedenartigen Holzwerkzeugen und der Arbeitstechniken des Aufkeilens und Abspaltens sehr effektiv.

- Die Beobachtungen der thermalen Einwirkungen auf die erhitzten Gesteine haben deutliche Veränderungen belegt. Die Korrelation der beim Experiment genommenen Proben mit Proben von den spätbronzezeitlichen Schutthalden und Abbaubereichen (*Abb. 12*) hat eine völlige Übereinstimmung gezeigt. Die roten, rotbraunen und rosanen Farbnuancen und die Grenzzonen mit den vom Feuer nicht betroffenen Bereichen sind identisch. Die durch das Feuersetzen erzeugten Farbveränderungen sind irreversibel.

- Damit wurde auch experimentell-archäologisch belegt, dass die in den alten technologischen Abfallaufschichtungen auf dem Ada Tepe zu beobachtenden farblichen Veränderungen mit der anthropogenen Einwirkung und dem Einsatz von Feuer in verschiedenen technologischen Schritten verbunden sind.

- Die differentialthermalen Analysen haben ihrerseits in den anthropogen veränderten Gesteinen den naturwissenschaft-

lichen Beleg für den Vorgang des Feuersetzens erbracht.

- Das Verhältnis von benötigtem Holz zu ausgebeutetem Gestein liegt in unserem Experiment bei ungefähr 0,75-0,77. Die in verschiedenen Experimenten gesammelte Erfahrung zeigt, dass dieses Verhältnis sehr unterschiedlich sein konnte (zwischen 0,27 und 2,3 – s. STÖLLNER U. A. 2012, 70-71, Tab. 1 und die zitierten Beispiele). Trotz der deutlich längeren Anwendung des Feuersetzens im Ada-Tepe-Experiment liegen unsere Verhältniswerte in den durchschnittlichen Bereichen. Unserer Meinung nach sind die Verhältnisergebnisse nicht nur vom Feuersetzen als Methode allein, sondern von mehreren anderen Faktoren abhängig. Hier spielen die Qualität und Feuchtigkeit des Holzmaterials und die spezifischen Charakteristika der Gesteine in jeder einzelnen Lagerstätte eine wesentliche Rolle, die für die Effektivität und Dauer des Arbeitsprozesses wichtig sind.

- Aufgrund der Anzahl der Leute, welche in den verschiedenen Etappen des Experiments beschäftigt waren, und aufgrund der bekannten und untersuchten Besiedlungsspuren lässt sich eine demographische Rekonstruktion der Bevölkerung, die damals auf dem Ada Tepe mit dem Goldbergbau beschäftigt war, unternehmen.

- Das erfolgreiche Abbau-Feuersetzen-Experiment hat genügend Erzmaterial für die Durchführung weiterer technologischer Experimente zur Verfügung gestellt.

Anmerkungen

[1] Wir bedanken uns herzlich bei Dr. Christian Groer und Dr. Alexander Maas, die für den Themenbereich des auf dem Ada Tepe genutzten Gesteinsinstrumentariums zuständig sind und an verschiede-

denen Etappen des Experiments teilgenommen haben.

Quellen

Agricola, De Re Metallica. Libri XII. Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. Deutsche Übersetzung bearbeitet von Carl Schiffer. Berlin 1928.

Diodorus Siculus, Βιβλιοθήκη Ἱστορική (Bibliotheca historica). The library of history. Vol. II (books 2.35-4.58. Translated by C. H. Oldfather. London 1935.

Livius, Ab urbe condita. Тит Ливий. История Рима от основания города. Т. 2. ред переводов Ф. Ф. велинский, М. Е. Сергеевко. Москва 1991.

Plinius, Naturalis historia. Natural history. Vol. IX, Libri XXXIII-XXXV. Translated by H. Rackham. London 1952.

Literatur

CRADDOCK, B. 1994: Notes on stone hammers. Bulletin of the Peak district mines historical society 12,3, 1994, 28-30.

CRADDOCK, P. T. 1992: A short history of firesetting. Endeavour 16,3, 1992, 145-150.

DOMERGUE, C. 2008: Les mines antiques. La production des métaux aux époques grecque et romaine. Paris 2008.

Goss, C. J. 1987: The kinetics and reaction mechanism of the goethite to hematite transformation. Mineralogical Magazine 51, 1987, 437-451.

HARDING, A., KAVRUK, V. 2011: A prehistoric salt production site at Băile Figa, Romania. Eurasia Antiqua 16, 2011, 131-167.

HARDING, A., SZEMÁN, A. 2011: Evidence for prehistoric salt extraction rediscovered in the Hungarian central mining museum. The Antiquaries Journal 91, 2011, 27-49.

MARCHEV, P., SINGER, B. 2002: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of magmatism and hydrothermal activity of the Madjarovo base-precious metal ore district, eastern Rhodopes, Bulgaria. In: D. Blundell, F. Neubauer, A. von Quadt (eds.), The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen. Geological Society London, Special Publication vol. 204. London 2002, 137-150.

MARCHEV, P. ET AL. 2004: The Ada Tepe deposit: a sediment-hosted, detachment fault-controlled, lowsulfidation gold deposit in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria. In: Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 84, 2004, 59-78.

MARTON, I. 2009: Formation, Preservation and Exhumation of Sedimentary Rock-Hosted Gold Deposits in the Eastern Rhodopes, Bulgaria. Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'Université de Genève pour obtenir le grade de Docteur ès sciences, mention sciences de la Terre. Genève 2009.

NEKHRIZOV, G., TZVETKOVA, J., im Druck: Ada Tepe. Thracian sanctuary near Krumovgrad. Sofia, im Druck.

O'BRIEN, W. 1994: Mount Gabriel. Bronze Age Mining in Ireland. Galway 1994.

OTTAWAY, B. 2003: Experimental Archaeometallurgy. In: T. Stöllner u. a. (eds.), Man and Mining – Mensch und Bergbau. Studies in honour of Gerd Weisgerber on occasion of his 65th birthday. Der Anschnitt, Beiheft 16. Bochum 2003, 341-348.

POPOV, H., JOCKENHÖVEL, A. 2010: At the Northern Borders of the Mycenaean World: Thracian Gold Mining from the Late Bronze and the Early Iron Age at Ada Tepe in the Eastern Rhodopes. In: ANODOS. Studies of the Ancient World 10, 2010, 265-281.

POPOV, H., JOCKENHÖVEL, A., GROER, Ch. 2011: Ada Tepe (Ost-Rhodopen, Bulgarien): Spätbronzezeitlicher-ältereisenzeitlicher Goldbergbau. In: Anatolian Metal V. Der Anschnitt, Beiheft 24. Bochum 2011, 111-126.

POPOV, H., NIKOV, K. 2013: Archäologische Rettungsforschungen des spätbron-

zezeitlichen und ältereisenzeitlichen Goldbergwerks auf dem Ada Tepe, Gemeinde Krumovgrad. In: Archäologische Entdeckungen und Forschungen im Jahre 2012. Sofia 2013, 117-119 (Bulgarisch).

POPOV, H. u. A. 2011: Montanarchäologische Forschungen in den Ostrhodopen, Südostbulgarien. In: V. Nikolov, K. Bachvarov, H. Popov (Hrsg.), Interdisziplinäre Forschungen zum Kulturerbe auf der Balkanhalbinsel. Sofia 2011, 253-290.

STÖLLNER, T., GAMBASCHIDZE, I., HAUPTMANN, A. 2008: The Earliest Gold Mining of the Ancient World? In: Ü. Yalçın, H. Özbal, A. G. Paşamehmetoğlu (eds.), Ancient Mining in Turkey and The Eastern Mediterranean. Ankara 2008, 271-288.

STÖLLNER, T., GAMBASHIDZE, I. 2011: Gold in Georgia II: The Oldest Gold Mine in the World. Anatolian Metal V. Der Anschnitt, Beiheft 24. Bochum 2011, 187-199.

STÖLLNER, T. u. A. 2012: Feuer setzen im frühesten Metallerzbergbau und ein Experiment im frühbronzezeitlichen Goldbergbau von Sakdrissi, Georgien. In: K. Oegl, V. Schaffer (Hrsg.), Die Geschichte des Bergbaus in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten. Proceedings zum 6. Milestone-Meeting des SFB HiMAT vom 3.-5.11.2011 in Klausen/Südtirol. Innsbruck 2012, 65-76.

WEISGERBER, G., WILLIES, L. 2001: The Use of Fire in Prehistoric and Ancient Mining: Firesetting. Paléorient 26, 2001,2, 131-149.

ŽELEV, D. 2007: Golderzlagertstätte „Han Krum“, Bereich „Ada Tepe“. In: V. Milev u. a. (Hrsg.), Die Goldlagerstätten in Bulgarien. Sofia 2007, 104-115 (Bulgarisch).

ŽELEV, D., HASSON, S. 2002: Geology of Khan Krum gold deposit. In: Bulgarian Geological Society. Annual Scientific Conference, Sofia, 21.-22. November 2002. Sofia 2002, 58-59.

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 3-4, 7-8, 10, 12: Hristo Popov

Abb. 2, 5-6, 9: Plamen Georgiev

Abb. 11: Zdravko Tsintsov

Autoren

Doz. Dr. Hristo Popov

Nationales Archäologisches Institut
mit Museum

Bulgarische Akademie der
Wissenschaften

Saborna Str. 2

Sofia 1000

Bulgarien

popovhristo@yahoo.co.uk

Doz. Dr. Zdravko Tsintsov

Institut für Mineralogie und

Kristallographie

Bulgarische Akademie der
Wissenschaften

Georgi Bonchev Str., Block 107

Sofia 1113

Bulgarien

ztsintsov@mail.bg

Prof. Dr. Albrecht Jockenhövel

Abteilung für Ur- und Frühgeschichtliche

Archäologie

Robert-Koch-Str. 29

48149 Münster

Deutschland

Jockenh@uni-muenster.de

Plamen Georgiev, PhD Student

Nationales Archäologisches Institut
mit Museum

Bulgarische Akademie der
Wissenschaften

Saborna Str. 2

Sofia 1000

Bulgarien

pl_georgiev@hotmail.com

ISBN

978-3-944255-02-6