

Metalle der Macht – Frühes Gold und Silber  
Metals of power – Early gold and silver

6. Mitteldeutscher Archäologentag  
vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saale)

Herausgeber Harald Meller, Roberto Risch und Ernst Pernicka



Tagungen des  
Landesmuseums für Vorgeschichte Halle  
**Band 11/I | 2014**

Metalle der Macht –  
Frühes Gold und Silber

Metals of power –  
Early gold and silver

*6. Mitteldeutscher Archäologentag  
vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saale)  
6<sup>th</sup> Archaeological Conference of Central Germany  
October 17–19, 2013 in Halle (Saale)*



Tagungen des  
Landesmuseums für Vorgeschichte Halle

Band 11/1 | 2014

Metalle der Macht –  
Frühes Gold und Silber

Metals of power –  
Early gold and silver

*6. Mitteldeutscher Archäologentag  
vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saale)*

*6<sup>th</sup> Archaeological Conference of Central Germany  
October 17–19, 2013 in Halle (Saale)*



Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt  
LANDESMUSEUM FÜR VORGESCHICHTE

herausgegeben von  
Harald Meller,  
Roberto Risch und  
Ernst Pernicka

Halle (Saale)  
2014

Dieser Tagungsband entstand mit freundlicher Unterstützung von:  
The conference proceedings were supported by:



Universitat Autònoma de Barcelona

Die Beiträge dieses Bandes wurden einem Peer-Review-Verfahren unterzogen. Die Gutachtertätigkeit übernahmen folgende Fachkollegen: PD Dr. Barbara Regine Armbruster, Prof. Dr. François Bertemes, Prof. Dr. Christoph Brumann, Prof. Dr. Robert Chapman, Dr. Andrea Dolfini, Prof. Dr. Gerhard Eggert, Dr. José Lull Gracia, Dr. Maria Filomena Guerra, Prof. Dr. Detlef Günther, Prof. Dr. Andreas Hauptmann, PD Dr. Reinhard Jung, Dr. Laurence Manolakakis, Prof. Dr. Gregor Markl, Dr. Regine Maraszek, Prof. Dr. Carola Metzner-Nebelsick, Prof. Dr. Pierre de Miroschedji, Prof. Dr. Louis Daniel Nebelsick, Prof. Dr. Ernst Pernicka, Prof. Dr. Margarita Primas, PD Dr. Sabine Reinhold, Dr. Ralf Schwarz, Dr. Zofia Anna Stos-Gale, Dr. Christian-Heinrich Wunderlich.

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://portal.dnb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-944507-13-2  
ISSN 1867-4402

*Redaktion* Jennifer Bröcher, Dirk Höhne, Kathrin Legler, Janine Nätke, Sven Roos, Monika Schlenker, Manuela Schwarz, Anna Swieder, Andrea Welk  
*Redaktion und Übersetzung der englischen Texte* Tanja Romankiewicz, Nicholas Uglow • beide Edinburgh, Bettina Stoll-Tucker  
*Organisation und Korrespondenz* Konstanze Geppert  
*Technische Bearbeitung* Thomas Blankenburg, Nora Seeländer, Mario Wiegmann  
*Vor-/Nachsatz, Sektionstrenner, Umschlag* S. 19, 49, 367 Fotos Juraj Lipták • München, Gestaltung Brigitte Parsche  
*Rubriktrenner* S. 51 © G. Borg, Halle (Saale); S. 151 © CEZA, Mannheim; S. 321 © C.-H. Wunderlich, LDA; S. 369 Piotrovski 2013; S. 313 Abb. 20,15–16; S. 449 J. A. Soldevilla, © ASOME-UAB; S. 609 Piotrovski 2013, S. 466 Abb. 157,3 u. Staatl. Museum f. Bildende Künste A. S. Puschkin; S. 883 J. Lipták, München

Für den Inhalt der Arbeiten sind die Autoren eigenverantwortlich.

© by Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt – Landesmuseum für Vorgeschichte Halle (Saale). Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

*Papier* alterungsbeständig nach DIN/ISO 9706  
*Satzschrift* FF Celeste, News Gothic  
*Konzept und Gestaltung* Carolyn Steinbeck • Berlin  
*Layout, Satz und Produktion* Nora Seeländer  
*Druck und Bindung* Salzland Druck GmbH & Co. KG

# Inhalt/Contents

## Band I

- 11 **Vorwort der Herausgeber/Preface of the editors**

## Sektion Allgemeines/Section General Perspectives

- 21 **Hans Peter Hahn**  
Die Sprache des Glanzes: Wert und Werte als Kontext von Gold
- 33 **Hans-Gert Bachmann**  
Gold: pursued, desired, cursed – Reverence for a precious metal

## Sektion Herkunft und Verarbeitung/Section Procurement and craft

### *Bergbau / Mining*

- 53 **Gregor Borg**  
»Gold is where you find it« – Zeitgenössischer artisanaler Goldbergbau in Afrika als Analogie (prä-)historischer Goldgewinnung
- 71 **Thomas Stöllner**  
Gold in the Caucasus: New research on gold extraction in the Kura-Araxes Culture of the 4<sup>th</sup> millenium BC and early 3<sup>rd</sup> millenium BC
- 111 **Danilo Wolf und René Kunze**  
Gegharkunik – Neue Quellen für altes Gold aus Südkaukasien?
- 141 **Rosemarie Klemm und Dietrich Klemm**  
Früher Goldbergbau in Ägypten und Nubien

### *Archäometrie / Archaeometry*

- 153 **Ernst Pernicka**  
Possibilities and limitations of provenance studies of ancient silver and gold
- 165 **Verena Leusch, Ernst Pernicka, and Barbara Armbruster**  
Chalcolithic gold from Varna – Provenance, circulation, processing, and function
- 183 **Zofia Anna Stos-Gale**  
Silver vessels in the Mycenaen Shaft Graves and their origin in the context of the metal supply in the Bronze Age Aegean
- 209 **Christopher D. Standish, Bruno Dhuime, Chris J. Hawkesworth, and Alistair W. G. Pike**  
New insights into the source of Irish Chalcolithic and Early Bronze Age gold through lead isotope analysis

- 223 Nicole Lockhoff and Ernst Pernicka**  
Archaeometallurgical investigations of Early Bronze Age gold artefacts from central Germany including gold from the Nebra hoard
- 237 Robert Lehmann, Daniel Fellenger, and Carla Vogt**  
Modern metal analysis of Bronze Age gold in Lower Saxony by using laser ablation mass spectrometry (ns-LA-ICP-QMS and fs-LA-ICP-MCMS) and portable X-ray fluorescence (pXRF)
- 247 Ernst Pernicka**  
Zur Frage der Echtheit der Bernstorfer Goldfunde
- 257 Mercedes Murillo-Barroso, Ignacio Montero Ruiz, and Martin Bartelheim**  
Native silver resources in Iberia
- 269 Francisco Contreras-Cortés, Auxilio Moreno-Onorato, and Martin Bartelheim**  
New data on the origin of silver in the Argaric Culture: The site of Peñalosa
- 285 Beatriz Comendador Rey, Jorge Millos, and Paula Álvarez-Iglesias**  
Provenance of the prehistoric silver set of Antas de Ulla, north-western Iberia, using lead stable isotope ratios
- 309 Katja Martin**  
Was bleibt ... Der Metallurg und sein Handwerk im archäologischen Befund

### *Experimentelle Archäologie / Experimental archaeology*

- 323 Barbara Armbruster**  
Ethnoarchäologie und experimentelle Archäologie in der Forschung prähistorischen Goldes
- 335 Eleni Konstantinidi-Syvridi, Nikolas Papadimitriou, Anna Philippa-Touchais, and Akis Goumas**  
Goldworking techniques in Mycenaean Greece (17<sup>th</sup>/16<sup>th</sup>–12<sup>th</sup> century BC): some new observations
- 349 Christian-Heinrich Wunderlich**  
Wie golden war die Himmelscheibe von Nebra?  
Gedanken zur ursprünglichen Farbe der Goldauflagen
- 353 Christian-Heinrich Wunderlich, Nicole Lockhoff und Ernst Pernicka**  
De Cementatione oder: Von der Kunst, das Gold nach Art der Alten zu reinigen

## Band II

### Sektion Kontext und Interpretation / Section Context und interpretation

#### *Osten / East*

- 371 Raiko Krauß, Steve Zäuner, and Ernst Pernicka**  
Statistical and anthropological analysis of the Varna necropolis
- 389 Svend Hansen**  
Gold and silver in the Maikop Culture
- 411 Barbara Helwing**  
Silver in the early societies of Greater Mesopotamia
- 423 Romain Prévàlet**  
Bronze Age Syrian gold jewellery – Technological innovation
- 435 Andreas Reinecke**  
Der Anfang des Goldhandwerks in Südostasien. Zur Verknüpfung archäologischer Befunde und metallanalytischer Ergebnisse

#### *Mittelmeer / Mediterranean sea*

- 451 Stelios Andreou and Michael Vavelidis**  
So rich and yet so poor: Investigating the scarcity of gold artefacts in Bronze Age northern Greece
- 467 Borja Legarra Herrero**  
The role of gold in south Aegean exchange networks (3100–1800 BC)
- 483 Maria Grazia Melis**  
Silver in Neolithic and Eneolithic Sardinia
- 495 Maria Bernabò Brea, Filippo Maria Gambari, and Alessandra Giumlia-Mair**  
Preliminary remarks on the gold cup from Montecchio Emilia, northern Italy
- 505 Teodoro Scarano and Giovanna Maggiulli**  
The golden sun discs from Roca Vecchia, Lecce, Italy: archaeological and cultural context
- 527 Alicia Perea**  
Goldworking processes and ontologies at the inception of metallurgy in the western Mediterranean
- 541 Maria Carme Rovira Hortalà, Ferran Borrell, Mònica Oliva, Maria Saña, Oriol Vicente, and Gabriel Alcalde**  
Early gold remains in the north-east of the Iberian Peninsula
- 547 Maria Carme Rovira Hortalà, Ignacio Montero Ruiz, and Alicia Perea**  
The funerary »treasure« of Montilla, Cordova, Spain
- 557 Vicente Lull, Rafael Micó, Christina Rihuete Herrada, and Roberto Risch,**  
The social value of silver in El Argar
- 577 Selina Delgado-Raack, Vicente Lull, Katja Martin, Rafael Micó, Cristina Rihuete Herrada und Roberto Risch**  
Die Silberschmiede von Tira del Lienzo, Totana, Prov. Murcia, im Kontext der El Argar Metallurgie



- 593 Mauro S. Hernández Pérez, Gabriel García Atiénzar, and Virginia Barciela González**  
The treasures of Villena and Cabezo Redondo, Alicante, Spain

### *Mitteleuropa / Central Europe*

- 611 Harald Meller**  
Die neolithischen und bronzezeitlichen Goldfunde Mitteldeutschlands – Eine Übersicht
- 717 Ralf Schwarz**  
Goldene Schleifen- und Lockenringe – Herrschaftsinsignien in bronzezeitlichen Ranggesellschaften Mitteldeutschlands. Überlegungen zur Gesellschaft der Aunjetitzer Kultur
- 743 Juliane Filipp und Martin Freudenreich**  
Dieskau Revisited I: Nachforschungen zur »Lebensgeschichte« des Goldhortes von Dieskau und zu einem weiteren Grabhügel mit Goldbeigabe bei Osmünde im heutigen Saalekreis, Sachsen-Anhalt
- 753 Martin Freudenreich und Juliane Filipp**  
Dieskau Revisited II. Eine mikroregionale Betrachtung
- 761 Rupert Gebhard, Rüdiger Krause, Astrid Röpke und Vanessa Bähr**  
Das Gold von Bernstorf – Authentizität und Kontext in der mittleren Bronzezeit Europas
- 777 Henning Haßmann, Andreas Niemuth, Mario Pahlow, Bernd Rasink, Stefan Winghart und Friedrich-Wilhelm Wulf**  
Der Goldhort von Gessel
- 789 Franziska Knoll, Harald Meller und Juliane Filipp**  
»Nordisch by nature«. Die jungbronzezeitlichen, goldenen Eidringe Sachsens-Anhalts an der südlichen Peripherie des Nordischen Kreises in ihrem Kontext
- 873 Christian-Heinrich Wunderlich**  
Gemeinsamkeiten und Unterschiede der goldenen Eidringe von Schneidlingen, Könnern, Hundisburg und Klein Oschersleben hinsichtlich ihrer Herstellungs- und Abnutzungsspuren

### *Westen und Norden / West and North*

- 885 Flemming Kaul**  
Bronze Age gold from Denmark
- 903 Stuart Needham and Alison Sheridan**  
Chalcolithic and Early Bronze Age goldwork from Britain: new finds and new perspectives

# Zur Frage der Echtheit der Bernstorfer Goldfunde

Ernst Pernicka

## Summary

### Considering the authenticity of the Bernstorff gold finds

*The gold finds from Bernstorff, Freising district, have been interpreted as evidence for contacts between Mycenae and Bavaria, with the gold assumed to have originated in Egypt. This provenance has been brought forward because of the similarities in the chemical composition of the gold finds from Bernstorff and a single gold find from Egypt, the so-called Akhenaten sarcophagus (KV 55). However, analyses of the gold foil from the sarcophagus published so far show apparent differences to the gold finds from Bernstorff. Hence both sample sets were reanalysed using laser ablation with inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS). Results confirmed the already published semi-quantitative analyses of the gold from KV 55 and were therefore able to at least question the provenance of the Bernstorff gold. Furthermore, a significant difference was recognised in comparison with the published results of the Bernstorff gold analyses – in particular regarding the concentrations of bismuth and antimony. The Bernstorff gold samples have a demonstrably high purity and contain a trace element pattern that is very similar to modern high purity gold samples. The possibility is therefore considered here that the origin of the Bernstorff gold could be modern and that the finds would therefore present a forgery.*

## Einleitung

In der Erstpublikation der Goldfunde von Bernstorff wurde deren Zusammensetzung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ohne nähere Angaben zur Analysenmethodik bestimmt (Gebhard 1999, 9 Anm. 15). Im Ergebnis der Untersuchungen wurde das Ausgangsmaterial als sehr reines Gold angesprochen. Es seien Konzentrationen von drei Elementen (Silber, Kupfer und Zinn) festgestellt worden, wobei Silber »unter 0,2 %« und Kupfer sowie Zinn jeweils »unter 0,5 %« nachgewiesen worden wären (Gebhard 1999, 9). Diese Formulierung legt jedoch nahe, dass es sich bei den als solche bezeichneten Konzentrationen im eigentlichen Sinn um Nachweisgrenzen handelt und die genannten Elemente somit gerade nicht nachgewiesen werden konnten. Diese Vermutung wird bestärkt durch die Veröffentlichung neuer Analysen (Bähr u. a. 2012), die mittels einer Elektro-

## Zusammenfassung

*Die Goldfunde von Bernstorff, Lkr. Freising, wurden als Beleg für Kontakte zwischen Mykene und Bayern interpretiert, wobei das Gold aus Ägypten stammen soll. Diese Herkunftsaussage wurde mit der Ähnlichkeit der chemischen Zusammensetzung der Goldfunde von Bernstorff und eines einzigen Goldfundes aus Ägypten, dem sogenannten Sarg des Echnaton (KV 55), begründet. Da die bisher veröffentlichten Analysen der Goldfolien von diesem Sarg aber deutliche Unterschiede im Vergleich zum Gold von Bernstorff aufweisen, wurden beide Probenensembles noch einmal mittels Laserablation gefolgt von Messungen in einem Massenspektrometer mit Anregung durch ein induktiv gekoppeltes Plasma (LA-ICP-MS) analysiert. Dabei konnten die bereits publizierten halbquantitativen Analysen des Goldes von KV 55 bestätigt und damit die Herkunftsaussage für das Bernstorfer Gold zumindest in Zweifel gezogen werden. Zudem wurde ein deutlicher Unterschied zu den veröffentlichten Analysen des Goldes von Bernstorff festgestellt – besonders bei den Konzentrationen von Bismut und Antimon. Die Bernstorfer Goldproben weisen eine außerordentlich hohe Reinheit auf und zeigen ein Spurenelementmuster, das denen moderner Reinstgoldproben sehr ähnlich ist. Es wird deshalb die Möglichkeit in Betracht gezogen, dass es sich um modernes Gold und damit um eine Fälschung handeln könnte.*

nenstrahlmikroskopie und mit LA-ICP-MS vorgenommen wurden. Wieder wurden keine Details der Analysenmethodik angegeben<sup>1</sup>. Hinsichtlich der Quantifizierung wurde lediglich erwähnt, dass die wellenlängendispersive Mikrosondenanalyse »eine gleichzeitige Untersuchung der Proben im Hauptelementbereich (Gewichtsprozente) bis in den unteren ppm-Bereich« erlauben würde (Bähr u. a. 2012, 28), was nicht für alle in dieser Untersuchung angeführten Elemente gelten kann. Das Ergebnis wurde lediglich grafisch in Form eines Musters von zwölf Spurenelementen dargestellt (Bähr u. a. 2012, 29 Abb. 24). Immerhin lässt sich daraus ablesen, dass die Elemente mit den höchsten Konzentrationen Bismut, Quecksilber, Antimon und Schwefel<sup>2</sup> sind. Die anderen acht Elemente in der Darstellung werden nicht benannt. Es wird zumindest aber festgestellt, dass »weder Kupfer noch Silber als Relikte der verwendeten Rohstoffe oder in Form von Zulegerungen« vorhanden wären (Bähr

<sup>1</sup> Es wurde allerdings das bei der Analyse verwendete Massenspektrometer Element 2 der Firma Thermo Fisher Scientific als »Multi-

kollektor Massenspektrometer« bezeichnet (Bähr u. a. 2012, 29), was nicht den Tatsachen entspricht.

<sup>2</sup> In der hier genannten Reihenfolge, beginnend mit dem höchsten Wert.



**Abb. 1** Anordnung der in Kunstharz eingebetteten Goldproben von KV 55. Die Probennummern sind in Weiß neben den Goldflittern zu erkennen.

**Fig. 1** Array of gold samples from KV 55 embedded in resin. The sample numbers are marked in white next to the gold samples.

u. a. 2012, 29). Aus analytischer Sicht ist diese Formulierung äußerst unbefriedigend, denn es werden keine Nachweisgrenzen angegeben. Somit ist auch nicht ersichtlich, ob diese neuen Analysen die ersten, mittels Röntgenfluoreszenz vorgenommenen bestätigen oder ob es einen Unterschied im Silbergehalt gibt. Die Aussage, dass unter anderem Kupfer

»nur mit dem hochauflösenden LA-ICP-Multikollektor-Massenspektrometer bestimmt werden (ppb)« konnte (Bähr u. a. 2012, 29), zeigt jedoch einen deutlichen Unterschied zu den in der Erstpublikation dargelegten Ergebnissen an.

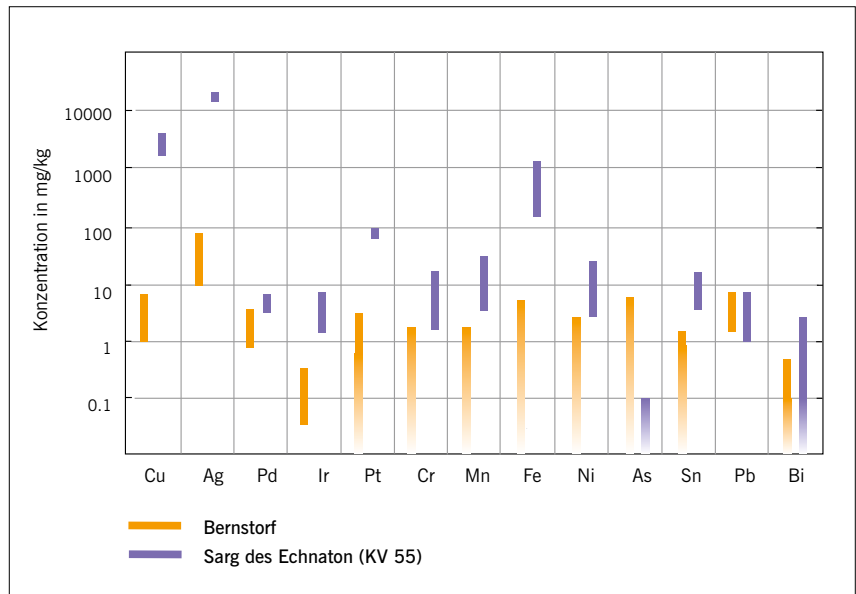
Wegen des sehr niedrigen Silbergehaltes, der in Naturgold extrem selten vorkommt und in aller Regel weit höher

Labornr.	Org. ID	Hauptelemente (in Masseprozent)			Platingruppenelemente (in mg/kg)						Spurenelemente (in mg/kg)		
		Cu	Ag	Au	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Ti	Cr	Mn
MA-134193	ARC364	0,0001	0,008	100	LoD	LoD	1,3	LoD	0,05	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134194	ARC365	0,0002	0,004	100	LoD	LoD	3,6	LoD	LoD	3,8	LoD	LoD	LoD
MA-134195*	ARC366	LoD	0,009	100	LoD	LoD	1,9	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134196	ARC367	0,0002	0,009	100	LoD	LoD	1,3	LoD	0,05	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134197	ARC368	0,0008	0,001	100	LoD	LoD	3,2	LoD	0,27	3,6	LoD	LoD	LoD
MA-134198	ARC369	0,0001	0,007	100	LoD	LoD	1,1	LoD	0,04	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134199*	ARC370	LoD	0,009	100	LoD	LoD	1,3	LoD	0,12	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134200	ARC371	0,0001	0,007	100	LoD	LoD	1,0	LoD	0,04	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134201	ARC372	0,0001	0,007	100	LoD	LoD	1,1	LoD	0,04	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134202	ARC373	0,0001	0,007	100	LoD	LoD	0,9	LoD	0,03	LoD	LoD	LoD	LoD
MA-134203*	ARC374	LoD	0,008	100	LoD	LoD	1,7	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD
LoD 58 µm (in mg/kg)		1	1	3	3	0,2	0,7	0,2	0,01	0,8	1	2	2
LoD 20 µm* (in mg/kg)		9	8	10	6	1	1	0,6	0,1	3	4	7	7

**Tab. 1** LA-ICP-MS Analysen der Goldproben von Bernstorf. Angegeben sind die Nachweisgrenzen (LoD – engl. limit of detection) für zwei verschiedene Strahldurchmesser. Die Ergebnisse der 20 µm breiten Linien sind mit \* gekennzeichnet. Osmium wird semiquantitativ bestimmt; die entsprechenden Werte sind kursiv dargestellt. Die Laserablation erfolgte über Linienmessungen (n = 3) bei einer Energie von 5 mJ.

**Abb. 2** Vergleich der Konzentrationsbereiche verschiedener Elemente in den Proben von Bernstorf mit denen im Gold vom Sarg des Echnaton. Neun der 13 betrachteten Elementkonzentrationen unterscheiden sich signifikant.

**Fig. 2** Comparison of the concentration ranges of various elements in the samples from Bernstorf with those of the gold of the Akhenaten sarcophagus. Nine of the 13 investigated element concentrations differ significantly.



ist, wurde bereits vermutet (Gebhard 1999, 9 f.), dass Gold und Silber durch den Zementationsprozess mit NaCl (Kochsalz) getrennt worden wären, obwohl diese Methode für das 2. Jt. v. Chr. bisher nicht nachgewiesen ist. Deshalb wurde zusätzlich Gold vom sogenannten Sarg des Echnaton (KV 55) analysiert (Abb. 1), das ebenfalls niedrige Silbergehalte aufweist und in einem Ausstellungskatalog als Beleg für die zementative Gold-Silber-Trennung interpretiert wurde (Klemm 2001, 85; Gebhard 2001, 93). Es handelt sich um sechs Proben, die von S. Junk an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg mit LA-ICP-MS analysiert worden sind. Bähr u. a. (2012, 30) haben diese Proben ebenfalls analysiert und stellten eine »überraschend hohe Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Goldes aus Bernstorf« fest. Die Autoren gingen nicht auf die eklatanten Unter-

schiede hinsichtlich der Gehalte an Silber sowie Bismut und Antimon zu den bereits im Jahr 2001 veröffentlichten Analysen ein. Dort wurde ein Silbergehalt von ca. 1% gemessen und die Konzentrationen von Bismut und Antimon lagen um oder unter 1 mg/kg (Klemm 2001, 82 f. Abb. 40) und nicht im Bereich von mehreren Hundert mg/kg für Antimon oder mehreren Tausend mg/kg für Bismut (Bähr u. a. 2012, 29 Abb. 24). Dadurch wird auch die vermutete Herkunft des Goldes von Bernstorf aus Ägypten in Frage gestellt.

Angesichts dieser Unklarheiten wandte sich der Autor an R. Gebhard, Direktor der Archäologischen Staatssammlung in München, mit der Bitte um Aufklärung bzw. dem Angebot, die Goldproben von Bernstorf erneut zu analysieren. Es wurden daraufhin dankenswerterweise elf Proben der

Spurenelemente (in mg/kg)

Labornr.	Org. ID	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se	Cd	Sn	Sb	Te	Pb	Bi
MA-134193	ARC364	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	8,4	LoD
MA-134194	ARC365	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	2,0	LoD	LoD	5,0	0,6
MA-134195*	ARC366	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	4,0	LoD
MA-134196	ARC367	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	5,3	LoD
MA-134197	ARC368	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	7,3	LoD
MA-134198	ARC369	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	4,6	LoD
MA-134199*	ARC370	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	2,1	LoD
MA-134200	ARC371	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	2,8	LoD
MA-134201	ARC372	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	2,9	LoD
MA-134202	ARC373	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	3,0	LoD
MA-134203*	ARC374	21,9	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	LoD	1,9	LoD
LoD 58 µm (in mg/kg)		7	0,8	3	2	7	12	0,7	0,9	0,3	0,3	0,3	0,1
LoD 20 µm* (in mg/kg)		16	3,7	13	6	20	26	2	2,5	0,7	1	1	0,3

**Tab. 1** LA-ICP-MS analyses of the gold samples from Bernstorf. The limits of detection (LoD) are given for laser beams with two different diameters. Results of the 20 µm wide lines are marked with an asterisk \*. Osmium is analysed semi-quantitatively; the respective results are presented in italics. The laser ablation was performed via line measurements (n=3) using an energy of 5 mJ.

Labornr.	Hauptelemente (in Masseprozent)			Platingruppenelemente (in mg/kg)						Spurenelemente (in mg/kg)		
	Cu	Ag	Au	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Ti	Cr	Mn
KV 55-1	0,16	3,11	97,0	9,2	1,3	4,9	<i>LoD</i>	2,4	75	<i>LoD</i>	<i>LoD</i>	8,3
KV 55-2	0,25	2,40	97,0	6,5	1,01	3,4	<i>LoD</i>	2,2	76	<i>LoD</i>	<i>LoD</i>	5
KV 55-3	0,12	2,67	97,2	<i>LoD</i>	1,3	4,6	<i>1,3</i>	2,7	79	<i>LoD</i>	1,8	5,9
KV 55-4	0,24	2,66	97,1	<i>LoD</i>	<i>LoD</i>	4,6	<i>LoD</i>	2,0	69	<i>LoD</i>	22	34
KV 55-5	0,12	2,51	97,4	<i>LoD</i>	1,0	4,4	3,9	2,5	72	<i>LoD</i>	21	34
KV 55-6	0,12	2,54	97,3	<i>LoD</i>	1,0	3,7	<i>LoD</i>	2,4	73	<i>LoD</i>	<i>LoD</i>	6,0
<i>LoD</i> (in mg/kg)	1	10	5	0,2	1	0,2	0,6	0,2	0,2	1	1	1

Tab. 2 LA-ICP-MS Analysen der Goldproben von KV 55. Osmium wird semiquantitativ bestimmt; die entsprechenden Werte sind kursiv dargestellt, ebenso wie andere Werte, bei denen hohe Signalschwankungen eine unsichere Quantifizierung anzeigten. Die Laserablation erfolgte über Punktmessungen ( $n=2$ ) bei einer Energie von 4 mJ und einer Ablationsdauer von durchschnittlich 30 s. Der Durchmesser des Laserstrahls betrug in allen Fällen 44  $\mu\text{m}$ . LoD – Nachweisgrenze (engl. limit of detection).

Goldobjekte von Bernstorf, eingebettet in Kunstharz, für die neuerliche Analyse mittels LA-ICP-MS zur Verfügung gestellt.

Da auch die genaue Zusammensetzung des Goldes von KV 55 nicht bekannt war, aber allgemein als wichtiges Vergleichsmaterial angesehen wird, wurden auch die noch vorhandenen Proben des Sarges des Echnaton aus dem Bestand der Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH (CEZA), Mannheim, (Abb. 2) ein weiteres Mal analysiert.

## Methoden und Ergebnisse

Die Analysen erfolgten mit einem X-Series II ICP-Massenspektrometer der Firma Thermo Fisher Scientific, an das ein Laserablations-System des Herstellers Resonetics angeschlossen ist. Die Messparameter des ICP-Massenspektrometers wurden für diese Anwendung optimiert, um ein stabiles Signal mit maximaler Intensität über den gesamten Massenbereich der gemessenen Elemente sicherzustellen und um die Bildung von Oxiden und doppelt geladenen Ionen zu minimieren (Schlosser u. a. 2009). Von der Oberfläche des Goldobjekts wurde mit einem Laserstrahl (ArF, 193 nm) eine sehr geringe Menge Gold (mit dem bloßen Auge nicht erkennbar) verdampft und mittels Helium (600 ml/min) als Trägergas in das Massenspektrometer eingebracht.

Für die Ablation wurden die Ablationsart (Linien- oder Punktablation) sowie die Größe des Laserstrahls je nach Probenzustand angepasst, um die bestmöglichen Bedingungen zu erzielen. Bei Linienmessungen wurde vor der eigentlichen Messung (58/20  $\mu\text{m}$ ) eine Vorablation durchgeführt, um die Probenoberfläche von möglicherweise vorhandenen Kontaminationen zu reinigen. Bei Punktmessungen wurden die ersten Sekunden des Signals verworfen, sodass quasi auch hier eine Reinigung der Probenoberfläche vor der eigentlichen Messung erfolgte. Alle Messungen wurden mit einer Frequenz von 8 Hz mit einer Energiedichte von 4 mJ bzw. 5 mJ durchgeführt. Folgende Isotope wurden bestimmt:  $^{48}\text{Ti}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Cu}$ ,  $^{68}\text{Zn}$ ,  $^{75}\text{As}$ ,  $^{82}\text{Se}$ ,  $^{101}\text{Ru}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{105}\text{Pd}$ ,  $^{107}\text{Ag}$ ,  $^{111}\text{Cd}$ ,  $^{118}\text{Sn}$ ,  $^{121}\text{Sb}$ ,  $^{125}\text{Te}$ ,  $^{193}\text{Ir}$ ,  $^{195}\text{Pt}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  und  $^{209}\text{Bi}$ . Die Quantifizierung der Elemente erfolgte über elementsspezifische, ablationsausbeutebezogene Korrekturfaktoren durch Normierung der Hauptelemente auf 100 Masseprozent (Gäbler u. a. 2011). Zwei verschiedene, externe, matrixangepasste Festkörperablationsstandards (NA1 und NA2) wurden zur Quantifizierung herangezogen (Kovacs u. a. 2009). Ein drittes Referenzmaterial (FAU7) wurde zur Qualitätssicherung und zur Überprüfung von Genauigkeit und Analysenpräzision mit gemessen. Eine aktuelle Beschreibung der gesamten Messmethodik geben V. Leusch u. a. (in Vorber.). Die Ergebnisse der Untersuchung der Goldproben von Bernstorf sind in

Probennr.	Inventarnr.	Ag	Cu	Sn	Ni	Bi	Zn	Pt	Hg	Pb
Au 1122	25098	ca. 0,1	Spur	Spur	n. d.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	0,03

Tab. 3 Zusammensetzung der Goldscheibe von Moordorf bei Aurich nach Analysen mittels Atomemissionsspektrometrie (AES). n. d. – nicht nachgewiesen, n. a. – nicht angegeben.

Tab. 3 Composition of the gold disc from Moordorf near Aurich according to analyses using atomic emission spectroscopy (AES). n. d. – not detected, n. a. – not specified.

Labornr.	Hauptelemente (in Masseprozent)			Platingruppenelemente (in mg/kg)						Spurenelemente (in mg/kg)		
	Cu	Ag	Au	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Ti	Cr	Mn
Au 1122	0,005	0,23	99,8	<i>LoD</i>	<i>LoD</i>	1,1	<i>LoD</i>	<i>LoD</i>	52	1,5	3,6	<i>LoD</i>

Tab. 4 LA-ICP-MS Analysen der Goldprobe von Moordorf bei Aurich. Osmium ist im Standard nicht zertifiziert, deshalb sind die Werte kursiv dargestellt. LoD – Nachweisgrenze (engl. limit of detection).

Labornr.	Spurenelemente (in mg/kg)											
	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se	Cd	Sn	Sb	Te	Pb	Bi
KV 55-1	290	LoD	6,8	LoD	20	LoD	LoD	16	LoD	LoD	3,5	0,03
KV 55-2	220	LoD	2,0	LoD	1,4	LoD	LoD	20	LoD	LoD	2,7	0,03
KV 55-3	240	LoD	2,8	LoD	LoD	LoD	LoD	6,7	LoD	LoD	1,9	LoD
KV 55-4	980	LoD	19	56	LoD	LoD	LoD	19	LoD	LoD	2,9	LoD
KV 55-5	930	LoD	21	52	LoD	LoD	LoD	5,1	LoD	LoD	1,04	LoD
KV 55-6	240	LoD	5,9	LoD	LoD	LoD	LoD	6,5	LoD	LoD	1,30	LoD
LoD (in mg/kg)	10	1	1	5	1	10	5	0,5	2	5	0,5	0,5

**Tab. 2** LA-ICP-MS analyses of the gold samples from KV 55. Osmium is analysed semi-quantitatively; the respective results are presented in italics, as well as those with a high degree of variation in their signal, which indicates possible insecurities in the quantifications. The laser ablation was executed via point measurements ( $n=2$ ) using an energy of 4 mJ and an average ablation time of 30 s. The diameter of the laser beam was constant for all measurements at 44  $\mu\text{m}$ . LoD – limit of detection.

Tabelle 1 und die des Sarges des Echnaton in Tabelle 2 zusammengestellt.

## Diskussion

Das Ergebnis der erneuten Analysen ist insofern überraschend, als das Gold eine noch höhere Reinheit aufweist als von V. Bähr u. a. (2012, 29) angegeben und wie sie in der Natur praktisch nie vorkommt. Zumindest für die Kupfer- und Silbergehalte wird aber die Aussage bestätigt, dass sie außergewöhnlich niedrig sind. Davon abgesehen, liegen die Konzentrationen fast aller gesuchten Spurenelemente jedoch unter den jeweiligen Nachweisgrenzen – mit Ausnahme von Palladium und Blei, die zwar in allen Proben gemessen werden konnten, allerdings im unteren mg/kg-Bereich. Auffällig sind die erheblichen Unterschiede zu den bei Bähr u. a. (2012, 29 Abb. 24) publizierten Gehalten von Bismut und Antimon. Die Summe aller analysierten Elemente außer Gold beträgt weniger als 0,01 %. Die Reinheit des Goldes liegt damit bei > 99,99 %.

Das Gold von KV 55 kann angesichts dieser Ergebnisse nun nicht mehr als dem Gold von Bernstorf ähnlich bezeichnet werden (Abb. 2). Die Silber- und Kupfergehalte in KV 55 sind mehrere Größenordnungen höher und liegen damit immer noch im Bereich derer von Naturgold. Zudem enthält dieses Gold signifikante Konzentrationen von Platingruppenelementen (in geochemisch üblichen Verhältnissen) und Zinn, wie sie in prähistorischen und antiken Goldobjekten durchaus häufig zu finden sind. Zusätzlich bestätigt sich der niedrige Bismutgehalt der halbquantitativen Analyse von D. D. Klemm (2001, 82 f. Abb. 40), der damit deutlich, um mehr als drei Größenordnungen von den in Bähr u. a. (2012, 29 Abb. 24) angegebenen Werten abweicht.

Die vergleichsweise hohe Reinheit des Goldes vom Sarg des Echnaton wurde von Klemm (2001, 85) und Gebhard (2001, 93) als Hinweis auf eine Gold-Silber-Trennung durch Zementation interpretiert. Diese könnte gegebenenfalls im 2. Jt. v. Chr. technisch möglich gewesen sein, ist aber archäologisch erst seit dem 6. Jh. v. Chr. nachgewiesen (Ramage/Craddock 2000). Es ist sicher kein Zufall, dass diese Technik erst mit der Einführung der Münzprägung zur vollständigen Trennung von Silber und Gold angewandt wurde. Denn durch die Prägung garantiert eine administrative Autorität das Gewicht und die Zusammensetzung eines Metallstückes. Das war bei Naturgold wegen der variablen Silbergehalte nicht möglich. Vorläufer zur Oberflächenveredelung von Naturgold mag es gegeben haben, um die gelbe Farbe des Goldes auf der Oberfläche zu erzielen (»Gelbsieden«). Anzeichen dafür gibt es bereits im 3. Jt. v. Chr. in Mesopotamien.

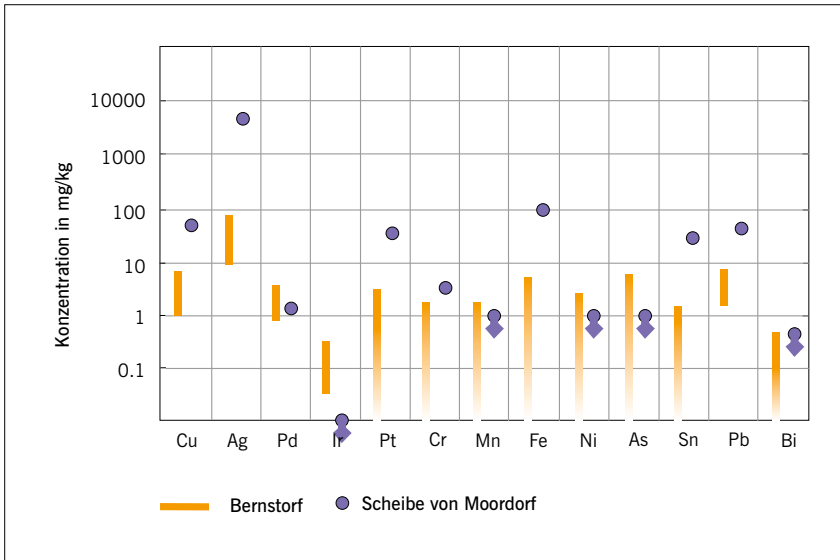
Als weiteres Argument für eine bronzezeitliche Gold-Silber-Trennung durch Zementation wurde die Scheibe von Moordorf bei Aurich angeführt (Jacob-Friesen 1931). Diese wurde von A. Hartmann mittels Atomemissionsspektrometrie (AES) analysiert und unter der Probennummer Au 1122 mit folgendem Ergebnis veröffentlicht (Tab. 3; Hartmann 1970).

Auch diese Probe wurde mittels LA-ICP-MS mit derselben Methodik wie das Gold von Bernstorf noch einmal analysiert. Das Ergebnis der Untersuchungen ist in Tabelle 4 enthalten.

Zunächst ist festzustellen, dass im Rahmen der analytischen Möglichkeiten die Ergebnisse Hartmanns bestätigt wurden. Dies zeigt erneut die Qualität der im Württembergischen Landesmuseum durchgeführten Analysen, wie schon bei den Kupfer- und Bronzeanalysen beobachtet werden konnte (Pernicka 1984).

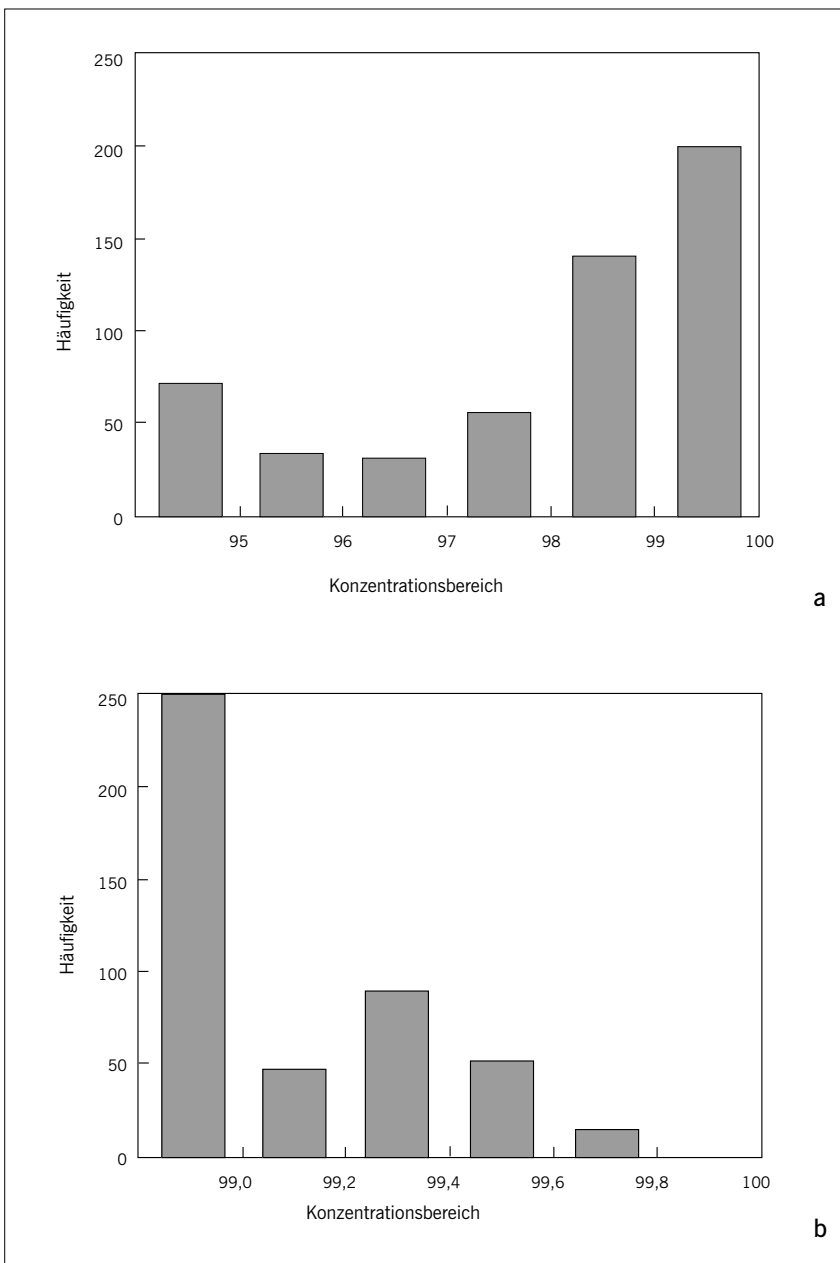
Labornr.	Spurenelemente (in mg/kg)											
	Fe	Co	Ni	Zn	As	Se	Cd	Sn	Sb	Te	Pb	Bi
Au 1122	100	LoD	LoD	5,6	LoD	LoD	LoD	33	1,8	LoD	49	LoD

**Tab. 4** LA-ICP-MS analyses of the gold sample from Moordorf near Aurich. Osmium is not certified within this standard, therefore, these results are represented in italics. LoD – limit of detection.



**Abb. 3** Vergleich der Konzentrationsbereiche verschiedener Elemente in den Proben von Bernstorf mit denen der Goldscheibe von Moordorf. Die Unterschiede in den betrachteten Elementen sind geringer als bei KV 55.

*Fig. 3* Comparison of the concentration ranges of various elements in samples from Bernstorf with those of the gold disc from Moordorf. The differences of the analysed elements are lesser than at KV 55.

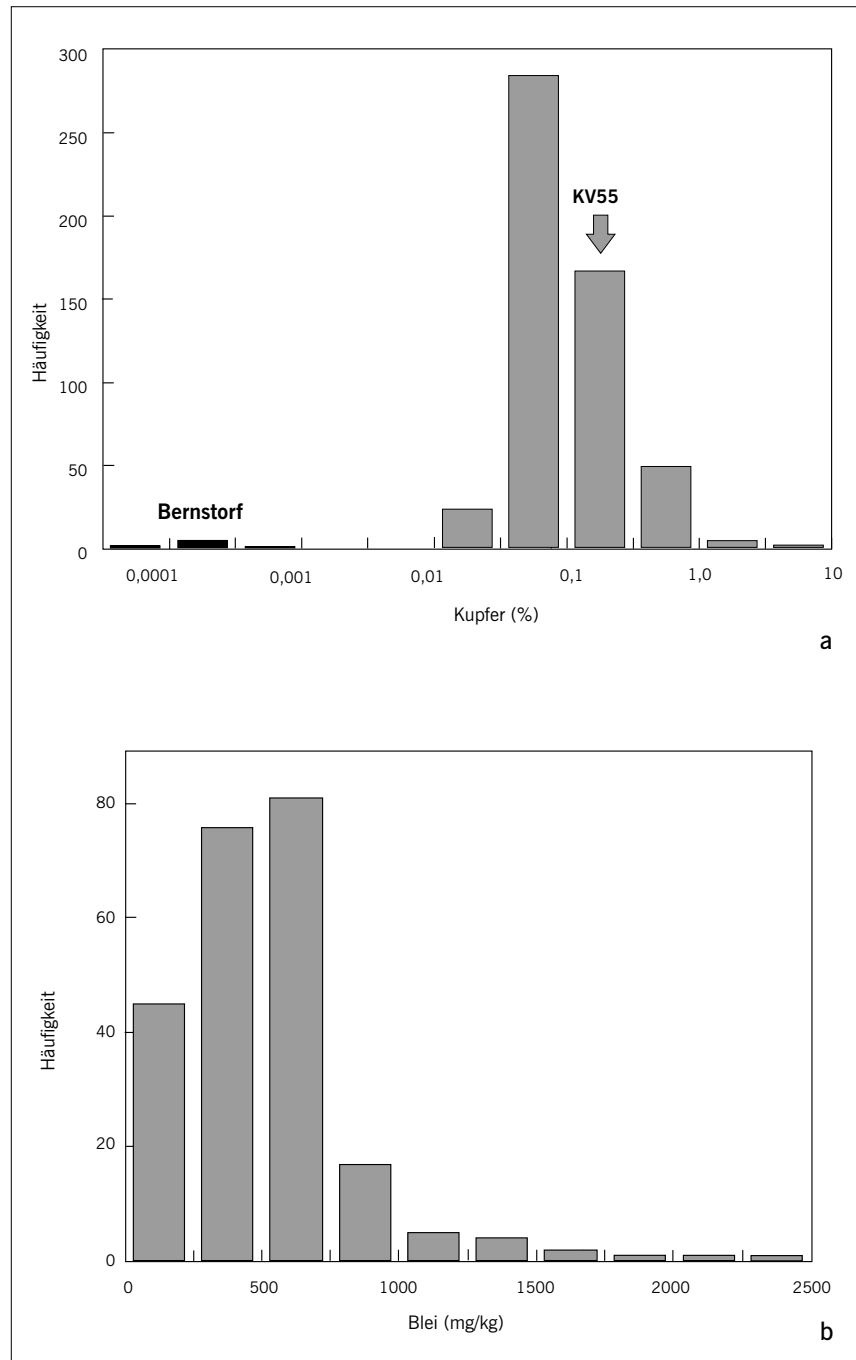


**Abb. 4a–b** Goldgehalte von knapp 600 römischen Goldmünzen von der Zeit der Republik bis zur Merowingingerzeit. a Nur etwa 10 % enthalten weniger als 95,0 % Gold; b Im Bereich zwischen 99,0 % und 100,0 % zeigt sich ein Häufigkeitsmaximum zwischen 99,2 % und 99,4 %. Keine einzige Münze enthält mehr als 99,8 % Gold.

*Fig. 4a–b* Gold contents of just under 600 Roman gold coins dating from the Roman Republic until the Merovingian period. a Only c. 10 % of these coins contain less than 95.0 % gold; b In the range between 99.0 % and 100.0 % the most common gold content percentages occur between 99.2 % and 99.4 %. Not a single coin contains more than 99.8 % gold.

**Abb. 5a–b** a Kupfergehalte in 532 römischen Goldmünzen von der Zeit der Republik bis zur Merowingerzeit. Der Unterschied zwischen dem Gold von Bernstorf und den römischen Goldmünzen zusammen mit KV 55 beträgt drei Größenordnungen; b Bleigehalte von 234 römischen Goldmünzen von der Zeit der Republik bis zur Merowingerzeit. Die Mehrheit der Münzen enthält weniger als 0,1 % Blei. Der höchste gemessene Wert in einer byzantinischen Münze betrug 0,27 %. In mehr als 300 weiteren Goldmünzen wurde Blei entweder nicht nachgewiesen oder nicht analysiert.

*Fig. 5a–b* a Copper contents of 532 Roman gold coins dating from the Roman Republic until the Merovingian period. The difference between the gold from Bernstorf and the Roman gold coins together with the evidence from KV 55 is three orders of magnitude; b Lead contents of 234 Roman gold coins dating from the Roman Republic until the Merovingian period. The majority of coins contain less than 0.1 % lead. The highest measured reading was taken from a Byzantine coin to be 0.27%. For more than 300 other gold coins lead was either not detected or not tested for.



Auch das Gold von Moordorf ist außerordentlich rein (Tab. 4), aber es enthält immer noch über eine Größenordnung mehr Silber als das Gold von Bernstorf sowie Platin in Konzentrationen, wie sie in modernem Gold gewöhnlich nicht mehr zu finden sind. Das Gold von Bernstorf (Abb. 3) weist deutlich mehr Ähnlichkeiten auf als das Gold von KV 55. Wenn man die Moordorfer Scheibe als Beleg für die prähistorische Zementation von Gold anführen wollen würde, deutet sich hier aber ein Problem an: Da die Scheibe von Moordorf allgemein in die frühe Bronzezeit datiert wird, ist der zeitliche Abstand zur archäologisch nachgewiesenen Silber-Gold-Trennung noch größer als beim Gold von Bernstorf.

Unter den ca. 2800 Analysen prähistorischer Goldobjekte von Hartmann (1970; 1978; 1982) sind nur neun mit einer

Reinheit von 99,9 %. Von diesen stammen fünf aus Spanien und datieren in die zweite Hälfte des 1. Jts. v. Chr. Zwei stammen aus Susa und zwei weitere vom Griff eines Schwertes, das sich im Dänischen Nationalmuseum in Kopenhagen befindet und aus Dendra auf der Peloponnes stammen soll. A. Perea u. a. (2010) haben an ca. 170 prähistorischen Goldobjekten mehr als 1600 Analysen mit einem Rasterelektronenmikroskop durchgeführt. Nur ein einziges Objekt der Periode III wies durchgehend ähnlich hohe Goldgehalte auf (Púnico, Ibérico meseta, Castreño; ca. 550–100 v. Chr.). Insofern wäre es sehr erstaunlich, wenn ein ganzes Ensemble von Goldobjekten der mitteleuropäischen Spätbronzezeit, wie jenes von Bernstorf, aus höchstreinem Gold bestehen sollte.

Für eine realistische Annäherung an die »übliche« Reinheit antiken Goldes können wohl römische Goldmünzen



Goldproben	Cu	Ag	Pd	Ir	Pt	Cr	Mn
Bernstorf (nach Tab. 1)	1–8	10–90	0,9–4	0,03–0,3	< 0,8–4	< 2	< 2
Modernes Reinstgold	1–12	20–120	0,5–7	0,0–0,6	< 0,1–4	0,1–0,6	0,1–0,4
	Fe	Ni	As	Sn	Pb	Bi	
Bernstorf (nach Tab. 1)	< 7	< 3	< 7	< 0,9–2	2–8	< 0,1–0,6	
Modernes Reinstgold	2–7	0,1–0,4	< 0,1–0,1	0,2–1	0,1–2	< 0,1–0,6	

**Tab. 5** Gerundete Konzentrationsbereiche (bestimmt mittels glow discharge mass spectrometry [GD-MS]) verschiedener Spurenelemente in acht modernen Reinstgoldproben, die als 99,99+ % bzw. 99,95+ % reines Gold verkauft werden (eine analysierte Goldprobe wies eine wesentlich geringere Feinheit auf und wurde in diese Betrachtung nicht einbezogen), im Vergleich zum Konzentrationsbereich in den elf Proben von Bernstorf. Alle Angaben in mg/kg.

**Tab. 5** Rounded data of concentration ranges (analysed via glow discharge mass spectrometry [GD-MS]) of different trace elements for eight modern high purity gold samples, which are sold as 99,99+ % or 99,95+ % pure gold (one analysed sample returned a significantly lower fineness and was hence excluded from the interpretation); these compared here with concentration ranges of the eleven samples from Bernstorf. All data given in mg/kg.

herangezogen werden. Bei Münzen ist es wichtig, die typische Goldfarbe, die mit bloßem Auge recht gut erkennbar ist, auch im Inneren des Metallstückes zu finden. Denn Fälschungen gab es bereits seit den Anfängen der Verwendung von Metall als Wertträger und Tauschgut. Für eine Goldfärbung im Inneren reicht es aber, den Goldgehalt auf ca. 99 % zu bringen. Eine weiter gehende Reinigung führt wohl unweigerlich zu Goldverlusten, denen kein erkennbarer Gewinn gegenüberstand (siehe Beitrag Wunderlich u. a. im vorliegenden Band). Diese Rationalität ist durchaus in den Gehalten römischer Goldmünzen (Kraut 2001) zu erkennen (Abb. 4). Aus diesen lässt sich zudem schließen, dass die zementative Gold-Silber-Trennung in der Antike nicht so exzessiv betrieben wurde, dass hochreines Gold mit weniger als 0,1 % Silber entstand.

Wenn man die Zusammensetzung römischer Goldmünzen als typisch für die Zusammensetzung antiken Goldes insgesamt – das durch Zementation von Silber getrennt wurde – betrachtet, dann fällt auf, dass auch die Kupfergehalte im Gold von Bernstorf deutlich niedriger sind (Abb. 5a). Das Gold vom Sarg des Echnaton ähnelt dagegen in seiner Zusammensetzung durchaus den römischen Münzen. Man könnte daher das Gold von KV 55 in Bezug auf dessen Silber- und Kupfergehalt tatsächlich als durch Zementation gereinigt interpretieren<sup>3</sup> – nicht aber das Gold von Bernstorf.

In der Studie von J. Kraut (2001) wurden mehrheitlich geringe Bleigehalte in den Goldmünzen festgestellt und Bismut überhaupt nicht nachgewiesen, wobei die Nachweisgrenze wohl bei ca. 0,01 % lag. Das ist insofern nicht überraschend, weil beide Elemente zusammen mit Tellur als schädlichste Verunreinigungen von Gold für dessen Verarbeitung beschrieben werden (Rose/Newman 1986). Diese machen bereits ab einer Konzentration von 0,1 % das Gold spröde und rissig, sodass es nicht mehr zu Folien gewalzt werden kann. A. A. Fesquet (1872) bemerkt, dass Bismut bereits in Spurenkonzentrationen Gold spröde werden lässt und gibt als Beispiel den Dampf von geschmolzenem Bismut an, der diese Wirkung auf geschmolzenes Gold überträgt. Für Blei gibt er sogar die Grenze von 0,05 % an, ab der die

Sprödigkeit erhöht und die Leitfähigkeit verringert wird. Als drastisches Beispiel nennt er eine Legierung von Gold mit 9,0 % Blei, die zerbrechlich wie Glas ist. Dementsprechend ist es nicht überraschend, dass die von Kraut (2001) analysierten römischen Goldmünzen nur sehr wenig Blei (Abb. 5b) und weniger als ca. 0,01 % Bismut enthalten. Gold mit 0,2 % Bismut, wie das Gold von Bernstorf nach Bähr u. a. (2012), wäre für eine Münzprägung und wohl auch für die Prägemuster an den Goldfunden von Bernstorf ungeeignet.

Als alternative Erklärung für die Reinheit des Goldes von Bernstorf liegt deshalb der Schluss nahe, dass es sich bei dem Gold von Bernstorf um modernes, elektrolytisch gereinigtes Gold handelt, das in der Regel eine ähnliche Reinheit aufweist (Kinneberg et al. 1998). Selbst die Spurenelementkonzentrationen liegen in ähnlichen Bereichen wie jene modernen Goldes (Tab. 5; Abb. 6).

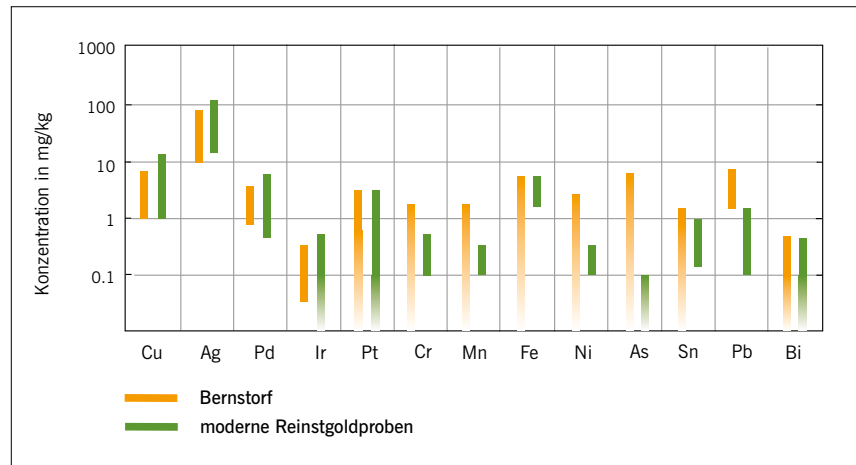
Gilt dies auch für die Scheibe von Moordorf? Es muss berücksichtigt werden, dass die Scheibe bereits vor mehr als 80 Jahren publiziert und nicht im Rahmen einer wissenschaftlich kontrollierten Ausgrabung geborgen wurde. Zudem war zu Beginn der 1930er Jahre Platin nicht so begehrt wie heute nach Einführung der Platinkatalysatoren und es wäre denkbar, dass dessen doch recht aufwendige Trennung von Gold nicht in jedem Fall durchgeführt worden ist.

In der modernen Metallurgie gibt es prinzipiell zwei Wege der Goldraffination, die immer auch die Gold-Silber-Trennung einschließen: Die Überführung der Begleitstoffe des Goldes in eine Lösung (Raffinationsprozess seit 1802; vgl. Tafel 1951) einerseits oder die Raffination von geschmolzenem Gold durch Chlorgas (Miller-Prozess seit 1867) andererseits, die dem Zementationsprozess weitgehend ähnlich ist. Elemente, die flüchtig sind oder flüchtige Chloride bilden – wie etwa Arsen, Blei und Bismut –, werden dabei sehr effizient entfernt. Bei beiden Verfahren entsteht verkaufsfähiges Gold mit 99,4–99,8 % Feingehalt. Die Platinmetalle verbleiben im Gold, aus dem sie durch eine Kaliumnitrat-schmelze oder durch Elektrolyse getrennt (Wohlwill-Prozess seit 1878) werden können. Die Anwendung dieser Verfahren ist jedoch nur bei hohen Gehalten und hohen Weltmarkt-

<sup>3</sup> Die Anwesenheit von Elementen wie Eisen, Arsen, Zink und Zinn spricht allerdings gegen eine Reinigung durch Zementation.

**Abb. 6** Vergleich der Konzentrationsbereiche verschiedener Elemente in den Proben von Bernstorf mit denen in modernem, hochreinem Gold verschiedener Hersteller.

*Fig. 6 Comparison of the concentration ranges of various elements in samples from Bernstorf with those of modern high-purity gold from various suppliers.*



preisen von Platinmetallen lohnend. Das Wertverhältnis Gold/Platin ist starken Schwankungen unterworfen, wobei im Allgemeinen in Perioden mit wirtschaftlichem Wachstum der Preis für Platin oft höher liegt als der für Gold, während in Zeiten der wirtschaftlichen Unsicherheit der Platinpreis wegen der geringeren Nachfrage oft unter den Goldpreis fällt.

Die chemische Zusammensetzung der Goldscheibe von Moordorf lässt daher keinen eindeutigen Schluss zu, ob es sich um außergewöhnlich reines Flussgold oder doch um modernes Gold handelt. Ebenso ist es nicht möglich, zwischen einem durch Zementation oder durch den Miller-Prozess gereinigten Gold zu unterscheiden.

### Schlussfolgerung

Die chemische Zusammensetzung des Goldes von Bernstorf und der Goldauflagen des sogenannten Sarges des Echnaton weisen erhebliche Unterschiede auf. Insofern ist die von Bähr u. a. (2012) getroffene Herkunftsaussage nicht halt-

bar. Die dort veröffentlichten Analyseergebnisse konnten durch erneute Untersuchungen nicht bestätigt werden. Das Gold von Bernstorf ist noch reiner als bei Bähr u. a. (2012) dargestellt. Die Argumentation der Autoren, dass es sich um durch Zementation mit NaCl gereinigtes Gold handelt, kann nicht aufrechterhalten werden, wenn man das Gold von Bernstorf mit römischen Goldmünzen vergleicht, deren Metall mit hoher Wahrscheinlichkeit diesem Prozess unterworfen wurde. Solch reines Gold wie das von Bernstorf wird erst seit moderner Zeit hergestellt und dies durch Elektrolyse. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass es sich bei den Goldfunden von Bernstorf um moderne Imitationen handelt.

### Danksagung

Die hier diskutierten Analysen wurden dankenswerterweise von N. Lockhoff und V. Leusch an der CEZA in Mannheim durchgeführt.

## Literaturverzeichnis

**Bähr u. a. 2012**

V. Bähr/R. Krause/R. Gebhard, Neue Forschungen zu den Befestigungen auf dem Bernstorfer Berg bei Kranzberg im Landkreis Freising (Oberbayern). Bayer. Vorgeschbl. 77, 2012, 1–18.

**Fesquet 1872**

A. A. Fesquet, A practical guide for the manufacture of metallic alloys comprising their chemical and physical properties, with their preparation, composition and uses (Philadelphia, London 1872).

**Gäbler u. a. 2011**

H. E. Gäbler/F. Melcher/T. Graupner/A. Bähr/M. A. Sitnikova/F. Henjes-Kunst/T. Oberthür/H. Brätz/A. Gerdes, Speeding Up the Analytical Workflow for Coltan Fingerprinting by an Integrated Mineral Liberation Analysis/LA-ICP-MS Approach. Geostandards and Geoanalytical Research 35,4, 2011, 431–448.

**Gebhard 1999**

R. Gebhard, Der Goldfund von Bernstorf. Bayer. Vorgeschbl. 64, 1999, 1–18.

**Gebhard 2001**

R. Gebhard, Anhang III: Analyse der Vergoldung. In: A. Grimm/S. Schoske (Hrsg.), Das Geheimnis des goldenen Sarges. Echnaton und das Ende der Amarnazeit. Ausstellungskat. München, Staatliches Museum Ägyptischer Kunst 17. Oktober 2001 bis 6. Januar 2002. Schr. Ägyptische Slg. 10 (München 2001) 87–94.

**Hartmann 1970**

A. Hartmann, Prähistorische Goldfunde aus Europa. Spektralanalytische Untersuchungen und deren Auswertung. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 3 (Berlin 1970).

**Hartmann 1978**

A. Hartmann, Ergebnisse der spektralanalytischen Untersuchung äneolithischer Goldfunde aus Bulgarien. Stud. Praehist. 1–2, 1978, 27–45.

**Hartmann 1982**

A. Hartmann, Prähistorische Goldfunde aus Europa 2. Spektralanalytische Untersuchungen und deren Auswertung. Stud. Anfänge Metallurgie 5 (Berlin 1982).

**Jacob-Friesen 1931**

K.-H. Jacob-Friesen, Die Goldscheibe von Moordorf und ihre britischen und nordischen Parallelen. Jahrb. Prähist. u. Ethnogr. Kunst 7, 1931, 25–44.

**Kinneberg u. a. 1998**

D. J. Kinneberg/S. R. Williams/D. P. Agarwal, Origin and Effects of Impurities in High Purity Gold. Gold Bull. 31,2, 1998, 58–67.

**Klemm 2001**

D. D. Klemm, Anhang II: Analyse des Goldes. In: A. Grimm/S. Schoske (Hrsg.), Das Geheimnis des goldenen Sarges. Echnaton und das Ende der Amarnazeit. Ausstellungskat. München, Staatliches Museum Ägyptischer Kunst 17. Oktober 2001 bis 6. Januar 2002. Schr. Ägypt. Slg. 10 (München 2001) 81–85.

**Kovacs u. a. 2009**

R. Kovacs/S. Schlosser/S. P. Staub/A. Schmiderer/E. Pernicka/D. Günther, Characterization of calibration materials for trace element analysis and fingerprint studies of gold using LA-ICP-MS. Journal Analytical Atomic Spectrometry 24, 2009, 476–483.

**Kraut 2001**

J. Kraut, Zerstörungsfreie Analyse römischer und byzantinischer Goldmünzen des ersten bis elften Jahrhunderts. Unpubl. Diss. Univ. Basel (Basel 2001).

**Leusch u. a. in Vorber.**

V. Leusch/M. Brauns/E. Pernicka, Precise and accurate analysis of gold alloys: Varna, the earliest gold of mankind as an example. In: L. Dussubieux/M. Goltko/B. Gratuze (Hrsg.), Recent Advances in Laser Ablation ICP-MS for Archaeology (Heidelberg, New York in Vorber.).

**Perea u. a. 2010**

A. Perea/O. García Vuelta/C. Fernández Freire, El Proyecto Au. Estudio arqueométrico de la producción de oro en la Península Ibérica. Bibl. Praehist. Hispana 27 (Madrid 2010).

**Pernicka 1984**

E. Pernicka, Instrumentelle Multi-Elementanalyse archäologischer Kupfer- und Bronzeartefakte: Ein Methodenvergleich. Jahrb. RGZM 31, 1984, 517–531.

**Ramage/Craddock 2000**

A. Ramage/P. Craddock, King Croesus' Gold: Excavations at Sardis and the History of Gold Refining. Arch. Exploration Sardis 11 (Cambridge 2000).

**Rose/Newman 1986**

T. K. Rose/W. A. C. Newman, The Metallurgy of Gold. Nachdruck der Ausgabe von 1937 (Boulder CO 1986).

**Schlosser u. a. 2009**

S. Schlosser/R. Kovacs/E. Pernicka/D. Günther/M. Tellenbach, Fingerprints in gold. In: M. Reindel/G. Wagner (Hrsg.), New Technologies for Archaeology: Multidisciplinary Investigations in Palpa and Nasca, Peru (Heidelberg 2009) 409–436.

**Tafel 1951**

V. Tafel, Lehrbuch der Metallhüttenkunde 1. Gold, Silber, Platinmetalle, Kupfer, Quecksilber, Wismut (Leipzig 1951).

## Abbildungsnachweis

1–3 CEZA

4–5 Werte nach Kraut 2001; Grafik Verf.

6 Werte Bernstorfer Gold CEZA; Werte modernes Gold nach Kinneberg u. a. 1998; Grafik Verf.

Tab. 1–2 CEZA

Tab. 3 Werte nach Hartmann 1970

Tab. 4 CEZA

Tab. 5 Werte Bernstorfer Gold CEZA; Werte modernes Reinstgold nach Kinneberg 1998

## Anschrift

Prof. Dr. Ernst Pernicka  
Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH (CEZA)  
D6, 3  
D-68159 Mannheim  
ernst.pernicka@cez-archaeometrie.de

Universität Heidelberg  
Institut für Geowissenschaften  
Im Neuenheimer Feld 236  
D-69120 Heidelberg  
Ernst.Pernicka@geow.uni-heidelberg.de

# Bislang erschienene Bände in der Reihe »Tagungsbände des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle«

Die Reihe der Tagungsbände des Landesmuseums wurde 2008 ins Leben gerufen. Anlass dazu war die Konferenz »Luthers Lebenswelten«, die im Jahr 2007 in Halle ausgerichtet wurde. Bereits der zweite Tagungsband widmete sich mit dem Thema »Schlachtfeldarchäologie« dem Mitteldeutschen Archäologentag, der seit 2008 jährlich von Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt veranstaltet und zeitnah publiziert wird. Dem großen Anteil inter-

nationaler Autorinnen und Autoren entsprechend, erscheinen viele Beiträge dieser Reihe in englischer Sprache mit deutscher Zusammenfassung.

Mit dem bislang zuletzt erschienenen Tagungsband konnten die Vorträge und Posterpräsentationen des 5. Mitteldeutschen Archäologentags »Rot – Die Archäologie bekennt Farbe« in zahlreichen Artikeln renommierter Forscher verschiedenster Fachdisziplinen vorgelegt werden.

## Lieferbar sind folgende Bände:

Band 1/2008 Harald Meller/Stefan Rhein/Hans-Georg Stephan (Hrsg.),

*Luthers Lebenswelten.*

Tagung vom 25. bis 27. September 2007 in Halle (Saale).

ISBN 978-3-939414-22-3, € 39,00

Band 2/2009 Harald Meller (Hrsg.),

*Schlachtfeldarchäologie. Battlefield Archaeology.*

1. Mitteldeutscher Archäologentag vom 09. bis 11. Oktober 2008 in Halle (Saale).

ISBN 978-3-939414-41-4, € 35,00

Band 3/2010 Harald Meller/Kurt W. Alt (Hrsg.),

*Anthropologie, Isotopie und DNA – biografische Annäherung an namenlose vorgeschichtliche Skelette?*

2. Mitteldeutscher Archäologentag vom 08. bis 10. Oktober 2009 in Halle (Saale).

ISBN 978-3-939414-53-7, € 29,00

Band 4/2010 Harald Meller/Regine Maraszek (Hrsg.),

*Masken der Vorzeit in Europa I.*

Internationale Tagung vom 20. bis 22. November 2009 in Halle (Saale).

ISBN 978-3-939414-54-4, € 32,00

Band 5/2011 Harald Meller/François Bertemes (Hrsg.),

*Der Griff nach den Sternen. Wie Europas Eliten zu Macht und Reichtum kamen.*

Internationales Symposium in Halle (Saale) 16.–21. Februar 2005 (2 Bände).

ISBN 978-3-939414-28-5, € 128,00

Band 6/2011 Hans-Rudolf Bork/Harald Meller/  
Renate Gerlach (Hrsg.),

*Umweltarchäologie – Naturkatastrophen und Umweltwandel im archäologischen Befund.*

3. Mitteldeutscher Archäologentag vom 07. bis 09. Oktober 2010 in Halle (Saale).

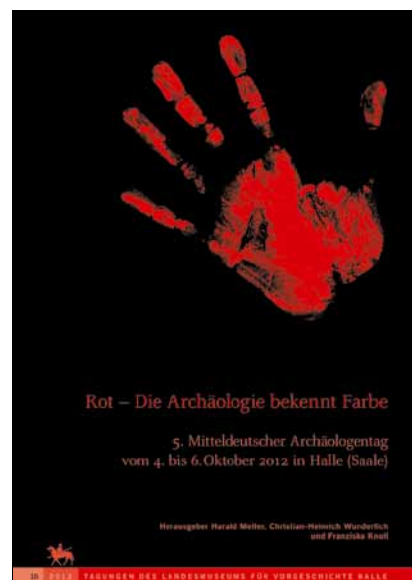
ISBN 978-3-939414-64-3, € 32,00

Band 7/2012 Harald Meller/Regine Maraszek (Hrsg.),

*Masken der Vorzeit in Europa II.*

Internationale Tagung vom 19. bis 21. November 2010 in Halle (Saale).

ISBN 978-3-939414-90-2, € 32,00



Band 8/2012 François Bertemes/Harald Meller (Hrsg.),  
*Neolithische Kreisgabenanlagen in Europa.*  
*Neolithic Circular Enclosures in Europe.*  
Internationale Arbeitstagung 7. bis 9. Mai 2004 in  
Goseck (Sachsen-Anhalt).  
ISBN 978-3-939414-33-9, € 59,00

Band 10/2013 Harald Meller/Christian-Heinrich Wunderlich/  
Franziska Knoll (Hrsg.),  
*Rot – die Archäologie bekennt Farbe.*  
5. Mitteldeutscher Archäologentag vom  
04. bis 06. Oktober 2012 in Halle (Saale).  
ISBN 978-3-944507-01-9, € 49,00

Band 9/2013 Harald Meller/François Bertemes/  
Hans-Rudolf Bork/Roberto Risch (Hrsg.),  
*1600 – Kultureller Umbruch im Schatten des  
Thera-Ausbruchs? 1600 – Cultural change in the  
shadow of the Thera-Eruption?*  
4. Mitteldeutscher Archäologentag vom  
14. bis 16. Oktober 2011 in Halle (Saale).  
ISBN 978-3-944507-00-2, € 69,00

Erhältlich im Buchhandel oder direkt beim  
Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt  
Landesmuseum für Vorgeschichte  
Richard-Wagner-Str. 9  
D-06114 Halle (Saale)

Tel.: +49-345-5247-332  
Fax: +49-345-5247-351  
E-Mail: [hkuhlow@lda.mk.sachsen-anhalt.de](mailto:hkuhlow@lda.mk.sachsen-anhalt.de)