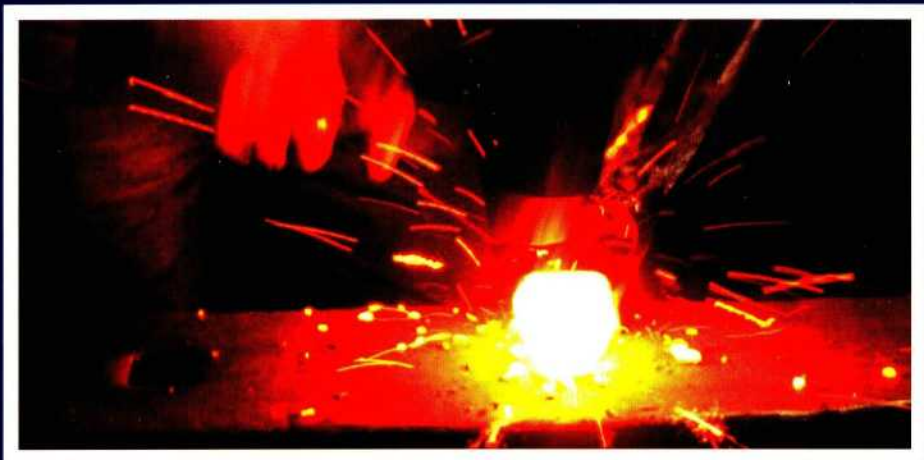
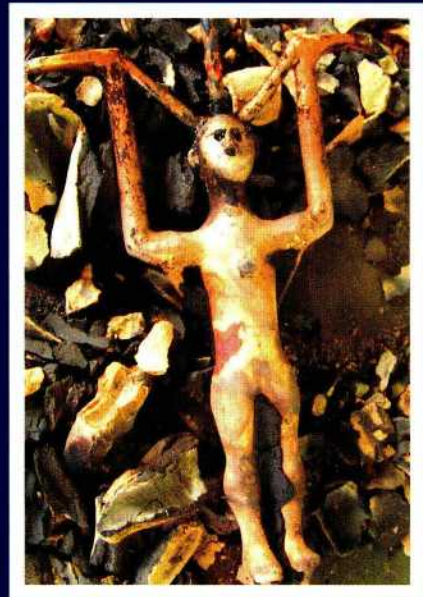


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE

in Europa

BILANZ 2013



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
BILANZ 2013
Heft 12

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 2013



Unteruhldingen 2013

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, Peter Walter
Textverarbeitung und Layout:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Bildbearbeitung:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Umschlaggestaltung:	Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder: P. Geiger, F. Trommer, M. Binggeli, E. Hunold (LDA Sachsen-Anhalt)

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 978-3-944255-01-9

© 2013 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, 99941 Bad Langensalza, Deutschland

Inhalt

Gunter Schöbel

Vorwort 8

Experiment und Versuch

Andreas Kurzweil, Jürgen Weiner

Wo sind die Retorten? – Gedanken zur allothermen Herstellung von Birkenpech 10

Bente Philippsen

Der Süßwasser-Reservoireffekt in der ¹⁴C-Datierung: neue Analysen und mesolithische Kochexperimente 20

Rosemarie Leineweber, Bernd Lychatz

Vom Eisenerz zur Lanzenspitze. Methodische Kenntnisse aus 34 Rennofen-Schmelzen 33

Fabienne Meiers

Ars purpuraria – Neue methodische Ansätze bei der Anwendung von Küpenverfahren in der Purpurfärberei 43

Rekonstruierende Archäologie

Frank Trommer, Angela Holdermann, Hannes Wiedmann

Der Nachbau einer Flöte aus Mammutelfenbein – neue Erkenntnisse zu Technik und Zeitaufwand. Mit einem Beitrag zur Spieltechnik von Susanne Schietzel-Mittelstraß 60

Markus Binggeli

Das Sofa des Fürsten von Hochdorf – zur Leistungsfähigkeit keltischer Metallwerkstätten 70

Thierry Luginbühl

Experimental combat: technical, anthropological and educational contributions 79

<i>Christian Maise</i> Römische Schnellbauweise im Experiment: Die Conturbernia auf dem Legionärspfad in Windisch	92
<i>Wolfgang Lobisser</i> Frühmittelalterdorf Unterrabnitz – Ein neues archäologisches Freilichtmuseum im österreichischen Burgenland	104
<i>Markus Binggeli</i> Der Becher von Pettstatt und das Werkstattbuch des Theophilus Presbyter	124
 Vermittlung und Theorie 	
<i>Sylvia Crumbach</i> Illusion als Rekonstruktion. Geschichtssillustrierende Textilarbeiten zwischen Bildersturm, Materialrekonstruktion und Schaubude	137
<i>Claudia Merthen</i> Versuch – Rekonstruktion – Experiment. Zur Begrifflichkeit aus Sicht der Rekonstruierenden Archäologie, Bereich Textil	147
<i>Gunter Schöbel</i> <i>Experimentelle Archäologie und der Dialog mit dem Besucher – eine methodische Annäherung</i>	160
<i>Karine Meylan</i> From research to mediation: A perspective for experimental archaeology	171
<i>Pierre-Alan Capt</i> Itinerary of an apprenticeship and the development of public event archaeological presentations	182
<i>Ralf Laschimke</i> Steinbeile im zentralen Bergland von Irian Jaya	192

<i>Guillaume Reich</i> Die Zerstörungen auf den eisenzeitlichen Waffen aus La Tène (Kt. Neuenburg, Schweiz): Kriegerische oder rituelle Zerstörungen?	201
<i>Andreas Sturm</i> Der Campus Galli. Experimentelle Archäologie – Living History – Tourismus	209
<i>Susanne Rühling</i> Replicas of ancient organs from the Roman and Byzantine culture – a small summary of a big project	217
 Jahresbericht und Autorenrichtlinien	
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2012	224
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	230

Vom Eisenerz zur Lanzenspitze Methodische Erkenntnisse aus 34 Rennofen-Schmelzen

Rosemarie C. E. Leineweber, Bernd Lychatz

Summary – From iron ore to the lance-head. Methodical insights of 34 bloomery furnace melts. *Based on archaeological findings of the Roman Iron Age in Northern Central Germany field trials with smelting furnaces took place. The interdisciplinarily applied experiments systematically followed archaeological and archaeometallurgical problems.*

Essential requirements for the actual multi-level bloomery furnace experiments were the selection and acquisition of suitable ores, charcoals and construction material for the furnace and the complex preparation of the same, the construction of different furnace variations up to special pre-experiments. During the numerous realised iron melts the process regarding wind supply, charge and duration of the procedure was verified. The strategy of this challenging test series consisted of the modification of one parameter at a time, at which the main goal was not to produce bloom but forgeable iron. By teamwork it was possible to eventually forge artefacts that were accurate to size. The whole labour-intensive process of iron extraction was accompanied by extensive analysis from the raw material to the final product.

Nevertheless not all questions were answered satisfactorily. There are yet some archaeological and archaeometallurgical aspects to be clarified, for which further experiments are necessary. The article describes the team approach regarding the preparation, execution and results of the bloomery furnace melts and the forging technique as well as the achievements, difficulties and deficits involved.

Ausgehend von archäologischen Befunden eines Verhüttungsplatzes des 2./3. Jh. n. Chr. von Zethlingen/Altmark (LEINWEBER 1989) sowie eisernen Grabinventaren aus zeitgleichen Brandgräbern der Region (LEINWEBER 1997, Taf. 40.1; 51.1; 51.2) fanden nach ersten Schlackenanalysen an der Bergakademie Freiberg (FENNERT 1992) zwischen 1990 und 2003 insgesamt 34 Feldversuche mit Rennöfen in Zethlingen, Ennod (N), Eindhoven (NL), Lejre (DK), Mansfeld (Südharz) und Hasselfelde (Harz) statt. Die interdisziplinär

angelegten Experimente gingen systematisch archäologischen und archäometallurgischen Fragestellungen mit dem Ziel nach, den Prozess vom Erzlager über die Rennfeuerschmelze bis zum geschmiedeten Artefakt zu begreifen und nachzuvollziehen.

Dokumentierte Rennofenexperimente mit Schmelzversuchen sind seit mehr als 50 Jahren bekannt. Die frühen Versuche waren dadurch gekennzeichnet, dass meist heterogene Eisen-Schlacke-Konglomerate entstanden und/oder dass sich vor den

Düsen Schlackenglocken ausbildeten; damit konnte nur ein minimales oder gar kein Ausbringen an schmiedbarem Eisen verzeichnet werden.

Erst ab den Versuchen Ende der Achtziger- (u. a. LYGSTRØM 1996; BOONSTRA, VAN DE MANAKKER, VAN DIJK 1997; CREW 1991) und in den Neunzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts, wie parallel bei den hier vorgestellten Versuchsserien (LYCHATZ 1995), gelang durch eine systematische Vorgehensweise in Arbeitsgruppen der Nachvollzug des Rennofenverfahrens dergestalt, dass bis zu 50 kg schwere, kompakte schmiedbare Luppen erzeugt werden konnten.

Da die metallurgischen und archäologischen Studien zur Forschungsgeschichte der Rennfeuerschmelzen und zu theoretischen Grundlagen der Rennofentechnologie in Vorbereitung der nachfolgend vorgestellten Rennfeuersuche bereits anderenorts ausführlich dargelegt wurden (LEINEWEBER, LYCHATZ 1998, 263ff.), kann an dieser Stelle zusammenfassend auf die Methodik der Versuchsreihe, ihre Ergebnisse und Defizite eingegangen werden.

Aus den Auswertungsergebnissen der Zethlinger archäologischen Befunde ergaben sich aus archäologischer wie auch aus metallurgischer Sicht diverse Fragenkomplexe, die mithilfe der experimentellen Archäologie, speziell durch Eisenverhüttungsversuche, gelöst werden sollten.

Sie betrafen Aufschlüsse zu Konstruktion und Bau der Öfen, die Einsatzstoffe und ihre Vorbereitung, die Arten der Windzufuhr, die Verhüttungsprodukte sowie den Vergleich der erzeugten Schlacken und Eisen mit historischen Funden. Ferner war das Verhältnis des Material- und Zeitaufwandes zum erzielten Ergebnis zu ermitteln und nicht zuletzt zu klären, ob die theoretische Funktionszuweisung der Anlagenkomponenten der praktischen Überprüfung überhaupt standhält. Neben den oben angeführten Fragestellungen inte-

ressierte aus metallurgischer Sicht insbesondere, inwieweit die Versuche Aussagen zur Theorie der im Ofen ablaufenden Prozesse zulassen würden, da darüber im Schrifttum unterschiedliche Auffassungen existieren.

Die Untersetzung der einzelnen Aufgabenfelder zeigte nicht allein das große Spektrum offener Fragen, sondern auch deren gegenseitige Durchdringung. Wissenschaftlicher Exaktheit genügend sollte pro Experiment nur ein Parameter verändert werden, um dessen konkrete Auswirkung auf das Versuchsergebnis analysieren zu können.

Eine adäquate Nähe zu den modelldiktierenden Befunden bedurfte nicht allein des Einsatzes heute selten genutzter Materialien, sondern auch entsprechender Techniken, die den Ausführenden bislang fremd waren. Die erste Versuchsphase kann daher als ein Erprobungsstadium bezeichnet werden, das jedoch im Ausschussverfahren methodisch-technologische Richtungen zu eliminieren half, die für eine erfolgreiche Lösung der o. g. Fragenkomplexe als nicht zielführend anzusehen waren.

Die Strategie der anspruchsvollen Versuchsserien bestand in Identifikation und Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren, wobei als vorrangiges Ziel nicht nur die Erzeugung einer Lupe, sondern schmiedbaren Eisens galt. Eine ausführliche Darstellung wurde 1998 publiziert (LEINEWEBER, LYCHATZ 1998).

Hinsichtlich der konstruktiven Details war Versuch 1 so nahe wie möglich am archäologischen Befund eines Zethlinger Ofens orientiert. Baumaterialien wie Lehm, Sand, Heu und Wasser waren aufzubereiten (Abb. 1) und die Zusammensetzung für die unterschiedlichen Ofenzonen, z. B. durch verziegelte Mantelreste oder Gestübbe (Holzasche, Kohlengrus) zu optimieren. Die Errichtung verschiedener Ofenvarianten bezog sich nicht allein auf die Bauweise (mit und ohne Innenge-



Abb. 1: Baumaterialien eines Rennofens.
– Construction material of a bloomery furnace.

flecht, vorgefertigte Ziegel, Wulsttechnik), sondern auch auf konstruktive Details (LEINWEBER, LYCHATZ 1998, Abb. 4), bezogen auf Schachthöhe, Gichtdurchmesser, Zahl, Lage und Anordnung der Düsen. Für den Bau eines Ofens wurden ca. 0,5 m³ Lehm benötigt, der zur Erzielung optimaler Haltbarkeit und Isolation mit Sand und langfaserigem Pflanzenmaterial gemagert worden war. In konstruktiver Hinsicht erwiesen sich, neben den befundgesicherten Maßen für Schlacken- und Arbeitsgrube, als günstigste Ofen-Parameter für die hier beschriebene technologische Variante des Rennverfahrens: ein konischer Ofenmantel mit einer Höhe von 1,10 bis 1,20 m über Düsenebene, vier symmetrisch radiale und waagrecht angeordnete Düsen sowie ein Gichtdurchmesser von 20 bis 25 cm (Abb. 2). Auf ein Weidengerüst zur Stützung des arbeitsfeuchten Lehmmantels wurde im Laufe der Versuchsserien verzichtet. Als günstige Maße für die Wanddicke erwiesen sich hinsichtlich des Verhältnisses von Stabilität und Rissbildung 5 bis 7 cm. Im Anschluss an den Bau des Ofens und dessen Lufttrocknung war eine mehrstündige Anheizphase mit Reisig bzw. Holz zu berücksichtigen; noch vor Prozessbeginn muss die Restfeuchtigkeit, die andernfalls die Betriebstemperatur merklich herabsenken würde, entwichen sein.



Abb. 2: Ofenschacht. – Furnace-shaft.



Abb. 3: Erz vor Röstung mit abgedeckter Röstgrube. – Bog ore before roasting with covered roast-pit.

Wesentliche Voraussetzungen für die Rennofenversuche bestanden in der Auswahl und Beschaffung geeigneter Erze und deren aufwändiger Aufbereitung durch Rösten, Pochen und Klassieren (LEINWEBER 1991, Abb. 2; 5; LEINWEBER, LYCHATZ 1998, Taf. 1 a, b). Während der ersten Versuchsreihe (V. 1-12) kam vor



Abb. 4: Luftzufuhr über Blasebälge. – Wind supply by bellows.

Ort anstehendes Raseneisenerz zum Einsatz, aus dem durch Rösten Wasser und karbonatische Anteile ausgetrieben worden waren (Abb. 3); die auf diesem thermischen Weg gelockerte Erzstruktur erleichterte auch das anschließende Zerkleinern des Erzes auf Korngrößen von 5 bis 15 mm. Eine grobe Beurteilung der Erzbasis ist anhand von Farbe und Struktur möglich: Ideal ist ein rostbraunes, zwischen den Fingern zu Mehl zerreibbares Erz. Körniges Erz deutet auf hohe SiO_2 -Gehalte hin (ZIMMERMANN 1998). Wie die Versuche bestätigten, sollte das Erz mehr als 70% Eisenoxid und weniger als 20% Kieselsäure aufweisen, da ein großer Teil des Eisens bei der Schlackenbildung verlorengeht.

In den folgenden Versuchen wurden, zur Untersuchung des Einflusses von Phosphor auf den Rennofenprozess, auch phosphorarme hämatitische Erze verwendet. Diese Eisenträger sind in ihrer Zusammensetzung auf die Analysenwerte

der Befunde aus dem Heilig-Kreuz-Gebirge hin optimiert worden.

Neben dem Eisenerz ist die Holzkohle der andere Einsatzstoff im Rennprozess. Sie fungiert als Energieträger, liefert das Reduktionsgas, bildet in Verbindung mit dem Erz im Ofenschacht eine Säule fester Einsatzstoffe (Möllersäule) und ermöglicht deren Durchgasung. Bei der Herstellung kohlenstoffreichen Eisens stellt sie auch den benötigten Kohlenstoff zur Verfügung. Nachdem in den ersten Versuchen die Holzkohleherstellung befundgetreu in Grubenmeilern geschah, kam später sortenreine Meilerholzkohle (Buche, Birke) zum Einsatz.

Der eigentliche Verhüttungsprozess kann in drei Phasen unterteilt werden: In der Vorheizphase wird der Rennofen auf die nötige Prozesstemperatur gebracht, ihr folgt die Beschickungsphase, in der Holzkohle und Erz gesetzt werden; die sogenannte Nachheizphase umfasst den Zeitraum vom letzten Erzesetzen bis zum



Abb. 5: Luftzufuhr über Gebläse. – Wind supply by fan.

Abschluss des Ofengangs.

Neben dem Wechsel der eingesetzten Erze, des Beschickungsregimes und der Verfahrensdauer erwies sich vor allem der Aspekt der Luftzuführung als essenzielle Einflussgröße.

Schon vor Bau des Ofens war die grundsätzliche Entscheidung über Zahl, Durchmesser, Anordnung und Positionierung der Düsen zu fällen, gemeinsam mit der Wahl aus den Optionen des Ofenbetriebes mit natürlicher oder künstlicher Windzufuhr. In der letzteren Variante wurden Versuchsreihen sowohl mit traditionellen Blasebälgen als auch mit leistungsgleichen Gebläsen gefahren. Der Vorteil der mit künstlicher Luftzufuhr betriebenen Öfen besteht in der Möglichkeit, über den steuerbaren Parameter Windmenge und damit über die Verbrennungsleistung den Verlauf des Prozesses wesentlich besser beeinflussen zu können. Es war dabei von untergeordneter Bedeutung, ob die

Luftbeaufschlagung periodisch (Blasebalg, Abb. 4) oder kontinuierlich (Gebläse, Abb. 5) erfolgte, da sich auch bei letzterem ein optimales Temperaturniveau einstellte. Hinsichtlich der Bildung einer kompakten und relativ homogenen Luppe erwies sich der Einsatz gebrannter Lehm Düsen, die ca. 10 bis 12 cm in den Ofenraum ragten, von Vorteil. Dass auch mit dem Einsatz natürlicher Windzufuhr Luppen herzustellen sind, bestätigte Versuch Nr. 13.

Eine weitere für die Durchführung der Eisenverhüttung im Rennofen bedeutende technologische Detailfrage, die Möglichkeit einer effektiven Schlackengrubenblockade, ist bereits beschrieben worden (LEINWEBER, LYCHATZ 1998, 282-283).

Resümierend kann der gesamte Prozess wie folgt dargestellt werden: Bei Versuchsbeginn ist die Schlackengrube durch Holzkohlenscheite blockiert, der Schacht mit Schichten von Erz und Kohle



Abb. 6: Schnitt durch eine Luppe. –
Sectional view of a bloom.

befüllt. Wenn die untere Holzkohlen-
schicht verbrannt ist, beginnt vor den
Düsen die Schlackenbildung aus dem
nachgerutschten vorreduzierten Erz.
Gleichzeitig entsteht eine erste, inhom-
gene und sehr poröse Luppe. Diese Lup-
pe übernimmt im weiteren Verlauf die
Funktion eines Stützgerüsts und ersetzt
die inzwischen durchgebrannte Blockade.
Die aus dem Erz entstehende Schlacke
tropft durch die Luppe in die Schlacken-
grube, die Luppe wächst dabei stetig.
Nach Ende des Versuchs liegt idealerwei-
se eine kompakte Luppe über dem Schla-
ckenklotz vor, die entnommen wird. Hin-
sichtlich der Beschickung des Ofens be-
währte sich ein Beschickungsverhältnis
Erz-Holzkohle von 1,0-1,5 zu 1. Unter-
schiedliche Beschickungsregimes und
Modifikationen der Prozessdauer zeitigten
nur einen untergeordneten Einfluss auf
die Luppenbildung. Auf der Basis einer
stabilen Luppenproduktion konnte der
Einfluss der verschiedenen, variierten Pa-
rameter untersucht werden. Innerhalb der
vorgestellten 34 Versuche wurden Luppen
von 2,4 bis 5,7 kg – in Abhängigkeit von
der Erzzusammensetzung und anderen
Einflussgrößen – hergestellt, die der wei-
teren Bearbeitung zugeführt werden
konnten (Abb. 6).

Die in den Versuchsrennöfen erzeugten
Luppen wurden ausgeschmiedet, um die
Weiterverarbeitbarkeit des so erzeugten
Eisens nachzuweisen und Aussagen über



Abb. 7: Ausschmieden der Luppe. –
Forging the bloom.

seine Warmverformungseigenschaften zu
erlangen. Die Schmiedbarkeit des Lup-
peneisens ist in erster Linie von seiner
chemischen Zusammensetzung und sei-
nem Gehalt an Restschlacken abhängig.
Luppen mit höheren Gehalten an
Schlackeeinschlüssen wird beim an-
schließenden Ausschmieden bald eine
technologische Grenze hinsichtlich ihrer
Warmverformbarkeit gesetzt.

Der Kunstschmiedemeister Thys van de
Manakker, Helenaveen (NL), übernahm in
seiner Werkstatt das Ausschmieden der
Luppen. In diesem ersten Verarbeitungs-
schritt sollten einerseits noch vorhandene
Schlackenreste ausgetrieben und ande-
rerseits das Luppeneisen verdichtet und
homogenisiert werden (Abb. 7). Vor allem
in den Luppen noch nicht stabil laufender
Versuche erwiesen sich die vielfach vor-
handenen Schlackenreste durch Abplatzen
und Rissbildungen als Barrieren für
eine weitere Verarbeitung durch den

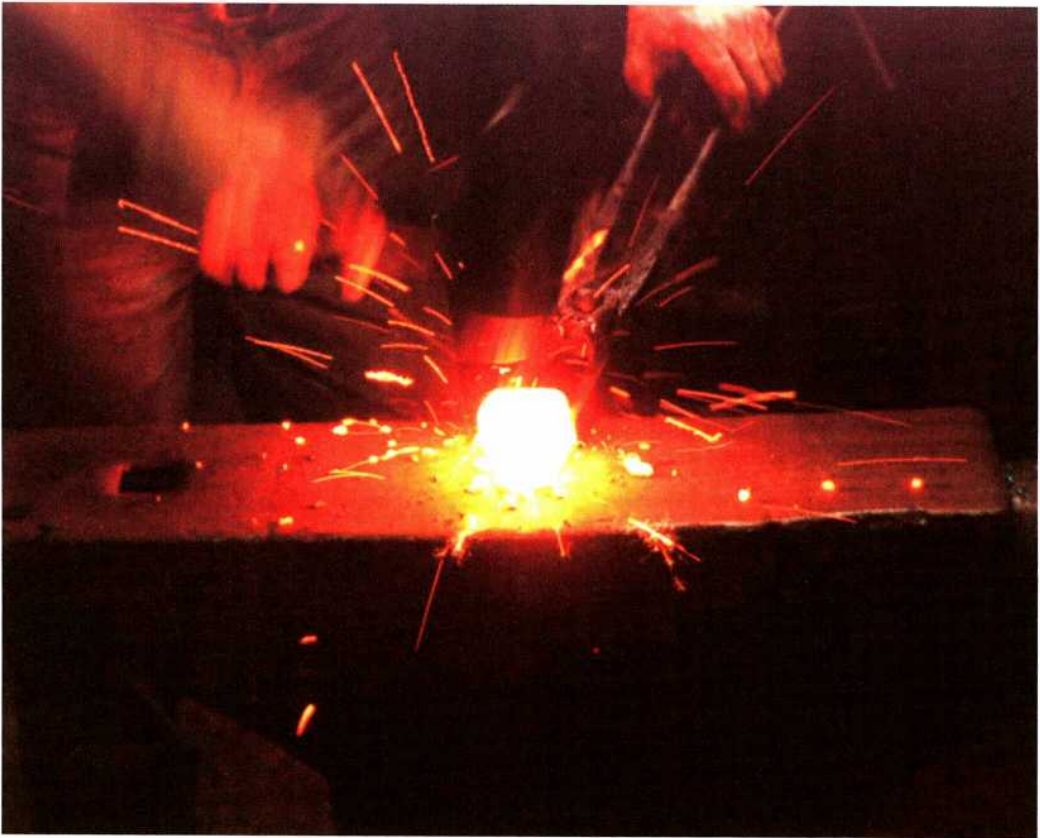


Abb. 8: Schmieden eines Barrens. – Forging a bar.

Schmied. Doch auch die Feuerverschweißungsschlacken, die während des Ausschmiedens in die Eisenmatrix gelangten, führten zu derartigen Aufreißungen im Material. Daraus und aus dem mehrmaligen Umschmieden resultierende Verluste betragen von ca. 64% (Schmieden eines Barrens) bis zu mehr als 85% (Herstellung von Replika) (Abb. 8-9). Die Höhe des Ausbringens von der Luppe zum Produkt wird jedoch wesentlich von verschiedenen Bestimmungsgrößen wie Güte der Schlacken-Luppen-Trennung, Zahl der Bearbeitungsstufen/Umschmiedevorgänge, Anzahl der Schmiede usw. beeinflusst. Darüber hinaus ist auch der Zeitpunkt des Bearbeitungsbeginns von Bedeutung: Es erwies sich als vorteilhaft, das Ausschmieden sofort nach dem Ziehen der noch warmen Luppe zu begin-

nen. Musste sie der Schmied erst wieder erwärmen, ergaben sich weitere Verluste durch Verzunderung.

Eine Herausforderung im Schmiedeprozess stellte die Bearbeitung hochgekoelter Luppen dar. Hohe Kohlenstoffgehalte bewirken im Stahl eine Absenkung der maximal möglichen Warmumformungstemperatur. Um die Luppen jedoch zu einem Barren ausschmieden zu können, müssen sie auf Schweißtemperatur (ca. 1250°C) gebracht werden. Das heißt, das Trefferfenster für den Schmied zur Erzeugung eines Eisenbarrens aus diesem Ausgangsmaterial wird sehr klein und stellt höchste Anforderungen an dessen Können.

Vor Zeitaufwandsberechnungen muss jedoch hier wie auch bezogen auf den gesamten nachvollzogenen Verhüttungspro-

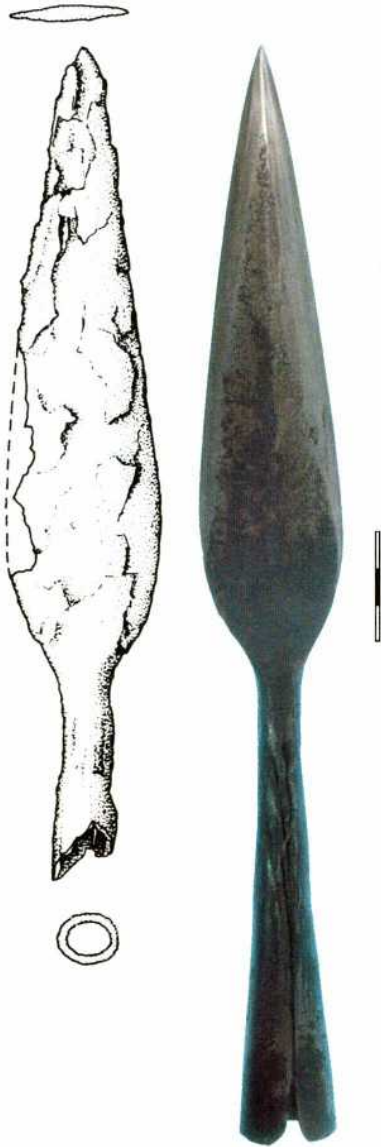


Abb. 9: Nach der Zeichnung des Originalfundes (Brandgrab 487 von Zethlingen) geschmiedete Lanzenspitze. – Forged lance-head following the drawing of an original find (Cremation burial 487 at Zethlingen).

zess gewarnt werden, weil trotz des Übens den heutigen Experimentatoren die generationenlange empirische Erfahrung (prä-)historischer Bevölkerungen fehlt. So könnten diese Zeitangaben le-

diglich ausweisen, wie schnell ein Mensch des 20. Jh. in einzelnen Lebensaltersstufen bestimmte Handlungen erlernt und ausführt.

Die durchgeführten Versuche zeigten, dass die Herstellung metallischen Eisens unter den im Rennofen herrschenden reduzierenden Bedingungen ohne Weiteres möglich ist. Selbst aus relativ eisenarmen Erzen wird metallisches Eisen reduziert. Die im Vorfeld angenommenen theoretischen Funktionszuweisungen hielten damit der praktischen Überprüfung stand. Aus den Erfahrungen der Versuche konnte eine technologisch sinnvolle Gestalt des Rennofens und seiner Bau- und Fahrweise eruiert werden, die sich innerhalb der archäologisch belegten Toleranzen bewegt. Klarere Vorstellungen wurden auch hinsichtlich der Auswahl der Einsatzstoffe und deren Vorbereitung und Verwendung (Zusammensetzung, Korngrößen, Beschickungsregime) gewonnen. Die Hauptproblematik des Rennofenprozesses besteht darin, die jeweiligen technologischen Randbedingungen so zu wählen, dass eine fayalithische Schlacke gebildet und von der gleichzeitig entstehenden Eisenluppe separiert wird. Eine vor allem aus metallurgischer Sicht wichtige Erkenntnis war, dass im Rennprozess über die steuerbare Größe Windmenge und damit über die Verbrennungsleistung eine Produktion von Luppen mit gewünschtem Kohlenstoffgehalt möglich war (Abb. 10). Als ein bedeutendes Ergebnis ist aus archäologischer Perspektive ein Berechnungsmodell zu werten, das in enger Verflechtung mit den Versuchen entstand. Es erlaubt die hinreichend genaue Bestimmung der Produktionsgröße prähistorischer Eisenverhüttungsplätze und fand bereits seine Anwendung in der Praxis (BRUMLICH U. A. 2012).

Dennoch konnten nicht alle Fragestellungen zufriedenstellend gelöst werden. Noch immer bedürfen einige archäologische und archäometallurgische Teil-

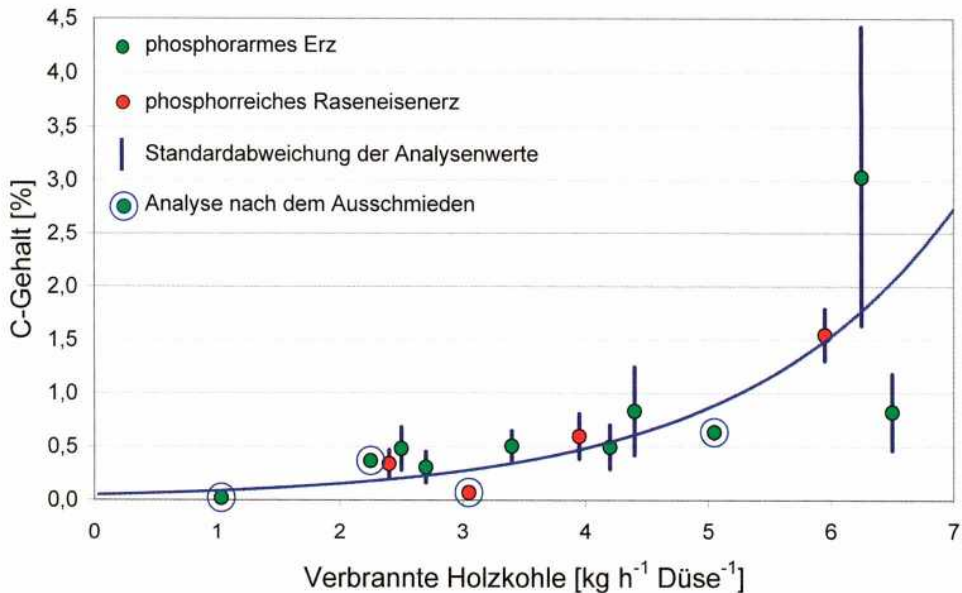


Abb. 10: Kohlenstoffgehalt der Luppen über Verbrennungsleistung und Düsenzahl (LYCHATZ 2012, 71). – Carbon-content of the bloom as a function of combustion-performance and number of tuyères (LYCHATZ 2013, 71).

aspekte der Klärung, wobei weitere Versuche notwendig sind. Hier sind beispielsweise die Erzeugung kompakter Schlackenklötze und die Trennung Luppe-Schlackenklotz entsprechend den Befunden sowie beim Einsatz phosphorreicher Erze die Minimierung der Phosphoranreicherung in der Luppe zu nennen.

Letztendlich gelang es, in Teamwork maßgetreue Artefakte entsprechend archäologischer Fundstücke zu schmieden. Umfangreiche Analytik begleitete den gesamten arbeitsintensiven Prozess der Eisenerzeugung von den Rohstoffen bis zum Endprodukt und half, erstmals aus metallurgischer Sicht ein schlüssiges, eindeutiges Modell des Rennprozesses zu erstellen (vgl. LYCHATZ 2012).

Literatur

BOONSTRA, A., VAN DE MANAKKER, T., VAN DIJK, W. 1997: Experiments with a Slag-

Tapping and a Slag-Pit Furnace. In: L. Nørbach (Hrsg.), Early Iron Production. Lejre 1997, 73-90.

BRÜMLICH, M. u. A. 2012: Archäologische und archäometallurgische Untersuchungen zur latènezeitlichen Eisenverhüttung im nördlichen Mitteleuropa. Prähistorische Zeitschrift 87 (2), 2012, 433-473.

CREW, P. 1991: The Experimental Production of Prehistoric Bar Iron. Historical Metallurgy 25, 1991, 21-36.

FENNERT, M. 1992: Metallurgische Aspekte zur Eisengewinnung im Rennofen unter direkter Bezugnahme auf eine spätrömerzeitliche Verhüttungsstelle bei Zethlingen, Kr. Salzwedel. Archäologische Informationen aus der Altmark 3, 1992, 36-40.

HEIMANN, R. B. u. A. 1998: Archaeometallurgical investigations into the iron production technology in Upper Lusatia, Saxony, from the Early Iron Age (Billendorf period) to the 12th century A. D.

Europäisches Journal für Mineralogie 10, 1998, 1015-1035.

LEINWEBER, R. 1989: Ein spätrömerzeitlicher Verhüttungsplatz im Bereich eines zeitgleichen Brandgräberfeldes von Zethlingen, Kr. Salzwedel. Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 72, 1989, 97-120.

LEINWEBER, R. 1991: „Langobardenwerkstatt Zethlingen“ – Lebendiges Museum mit Archäologischen Experimenten nach Grabungsbefunden des 2.-4. Jahrhunderts in der Altmark. Experimentelle Archäologie, Bilanz 1991. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland, Beiheft 6, 1991, 119-129.

LEINWEBER, R. 1997: Die Altmark in spätrömischer Zeit. Halle (Saale) 1997.

LEINWEBER, R., LYCHATZ B., FENNERT M. 1994: Eisenerzeugung im Rennofen. In: A. Boonstra (Hrsg.), Ijzersterk. Ommel 1994, 20-22.

LEINWEBER, R., LYCHATZ, B. 1998: Versuche im Rennofen. Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 80, 1998, 263-304.

LYCHATZ, B. 1995: Rekonstruktionsversuch zur Eisenerzeugung im Rennofen mit eingetiefter Schlackengrube. Experimentelle Archäologie, Bilanz 1994. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland, Beiheft 8, 1995, 247-253.

LYCHATZ, B. 2013: Metallurgie des Rennverfahrens (Habilitationsschrift TU Bergakademie Freiberg 2013).

LYCHATZ, B., JANKE, D. 2000: Experimentelle Simulation der frühen Eisenerzeugung. Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege 42, 2000, 287-306.

LYNGSTRØM, H. 1996: Fra malm i mosen til stål i smedjen. In: Naturens Verden, Historisk-Arkæologisk Forsøgcenter (Hrsg.), Arkæologiske eksperimenter i Lejre. Lejre 1996, 49-56.

ZIMMERMANN, C. 1998: Zur Entwicklung der Eisenmetallurgie in Skandinavien und

Schleswig-Holstein. Prähistorische Zeitschrift, 1998/1, 69-99.

Abbildungsnachweis

Abb. 1-3, 5: R. Leineweber

Abb. 4, 6-8: E. Hunold, LDA Sachsen-Anhalt

Abb. 9: C. Liebing (Zeichnung aus LEINWEBER 1997, Taf. 51,2), A. Hörentrup (Foto; beide LDA Sachsen-Anhalt)

Abb. 10: B. Lychatz

Autoren

Dr. phil. R. C. E. Leineweber

Am Schafstall 2

29410 Salzwedel

Deutschland

roleine@web.de

Dr.-Ing. habil. B. Lychatz

Institut für Eisen- und Stahltechnologie

TU Bergakademie Freiberg

Leipziger Str. 34

09599 Freiberg/Sa.

Deutschland

lychatz@iest.tu-freiberg.de

ISBN

978-3-944255-01-9