

Daniel Demant,
Jennifer Garner,
Manuel Zeiler

Experimentelle
Archäologie

Ergebnisse zum Verhüttungsversuch in einem Siegerländer Rennofen der Eisenzeit

Kreisfreie Stadt Hagen, Regierungsbezirk Arnsberg

In den Jahren 2017 und 2018 führte im LWL-Freilichtmuseum Hagen eine Kooperation von LWL-Archäologie für Westfalen, Außenstelle Olpe, Deutschem Bergbau-Museum Bochum, Ruhr-Universität Bochum, LWL-Freilichtmuseum Hagen sowie Römisch-Germanischem Zentralmuseum Mainz (Labor für experimentelle Archäologie Mayen) aufwendige Verhüttungsversuche an einem rekonstruierten Siegerländer Kuppelofen durch. Die viel beachteten Experimentreihen widmeten sich den bisher in wesentlichen Aspekten kaum verstandenen größten Verhüttungsöfen (Rennöfen) im eisenzeitlichen Europa, die während der letzten drei vorchristlichen Jahrhunderte im heutigen Siegerland betrieben wurden. Die Versuche zielten besonders darauf ab, Aspekte zum Ofenbau und zur Betriebsführung während des Verhüttungsvorgangs zu klären bzw. zu erproben. Da beispielsweise bislang der archäologische Nachweis eisenzeitlicher Meiler zur Holzkohlenproduktion im Siegerland fehlt, wurde im Experiment auf Holz zurückgegriffen. Es zeigte sich hierbei, dass es als Brennstoff durchaus geeignet ist. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist der Nachweis, dass Eisen kontinuierlich und vielfach in einem Ofen verhüttet werden kann. Vor der Experimentreihe galt dies als hüttentechnische Innovation erst des Hochmittelalters; die neue Erkenntnis lässt nun das enorme Know-how der eisenzeitlichen Handwerker erahnen.

2019 stand die archäometallurgische Gesamtauswertung beider Versuchsreihen an. Zu

den untersuchten Objekten gehören sowohl das verwendete Erz als auch die Endprodukte der Verhüttung (Schlacken und Luppen), die im materialkundlichen Labor des Deutschen Bergbau-Museums untersucht wurden. Bei dem verhütteten Erz handelte es sich um Raseneisenerz vom Niederrhein mit einem FeO-Gehalt von mehr als 60 %.

Die Analyse des unvollständig verhütteten Erzanteils (Abb. 1, A) ergab, dass dieses in seiner Farbe und mit den durch die Hitze entstandenen Schrumpfungsrissen sogenanntem Rösterz ähnelt. Das Rösten von Erz ist eine wichtige Vorstufe der Verhüttung. Es dient dazu, unerwünschte Bestandteile wie Wasser und Schwefel zu verdampfen. Dabei entstehen gleichzeitig Risse, die das Erz mürbe machen und den Verhüttungsprozess begünstigen (Abb. 1, B). Im Schliffbild der Erze aus dem Experiment wird deutlich, dass hier aus kolloformen Verwachsungen von Hämatit und Goethit während der Verhüttung zahlreiche Risse entstanden sind. Auf eine Röstung wurde wegen der angenommenen hohen Qualität des Ausgangserzes allerdings verzichtet. Wie sich jedoch anhand der Analyse zeigt, traf diese Annahme nicht zu. Der Verzicht auf den Röstprozess war somit ein Fehler. Möglicherweise spielte auch die Größe des Erzes eine Rolle: 2017 war es ein feiner Grus, 2018 hatte es eher Wallnussgröße.

Die aus dem Ofen geborgenen Erze lassen alle Reduktionsstufen bis zum metallischen Eisen erkennen. Das Hauptaugenmerk lag auf

Abb. 1 A: Erz aus kolloform-verwachsenem Hämatit (hellgrau) und Goethit (mittelgrau); B: im experimentellen Verhüttungsprozess entstandenes Rösterz mit Schrumpfungsrissen (Fotos: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/ D. Demant).

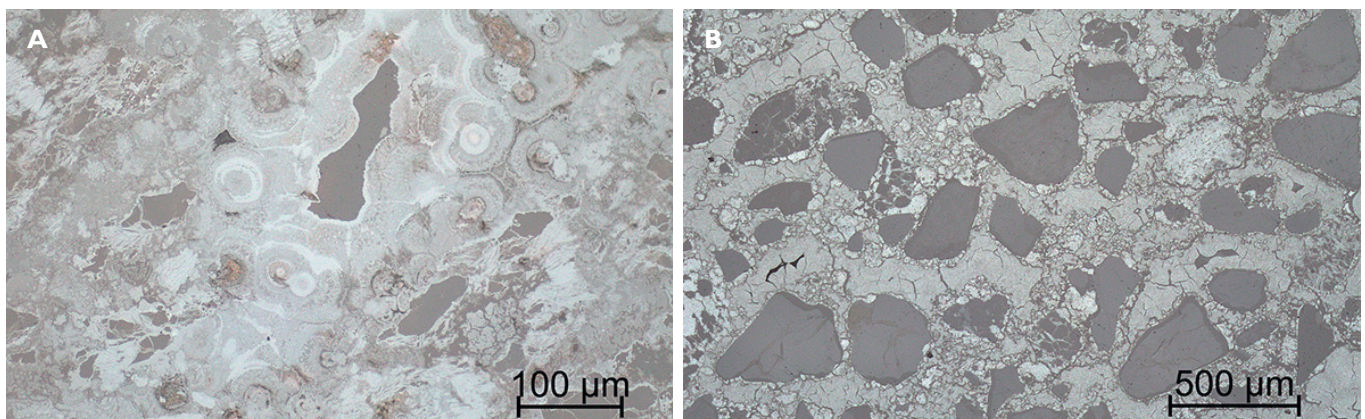




Abb. 2 A: Eingießen der Luppe in Gips; B: Sägen der Luppe (Fotos: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/D. Demant, J. Garner).

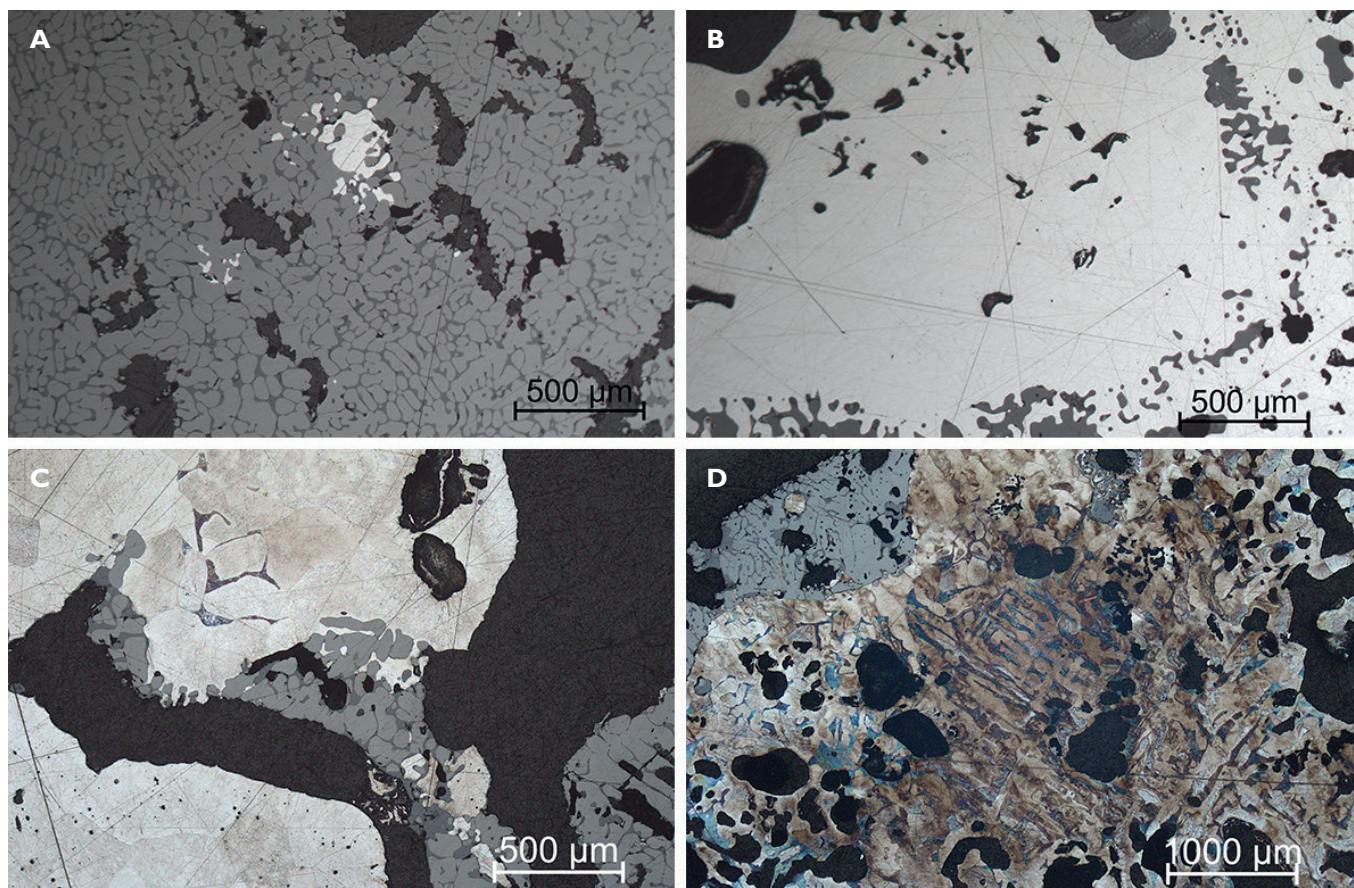
größeren Schlacken. Für die Analysen wurden zwei der größten Exemplare ausgesucht, bei denen das Vorhandensein metallischen Eisens (Luppe) am wahrscheinlichsten war. Überdies wurde ein Schlackenklötz von 2017 in die Untersuchungen mit einbezogen. Aufgrund der Analyseergebnisse des ersten Verhüttungsversuches 2017 bestand die Hoffnung, dass dieser ebenfalls eine Luppe enthalten könnte.

Um einen ersten Einblick in das Innere der Schlacken zu bekommen, wurden sie längs aufgesägt (Abb. 2). Da aber wegen ihrer Form

und Größe eine Fixierung nötig ist, wurden sie zuvor in einem Holzkasten in Gips eingegossen. Für das Durchsägen stand eine Baustellensäge mit Diamantsägeblatt und Wasserkühlung zur Verfügung.

Sowohl die spürbare Härte als auch der Funkenflug während des Sägevorgangs an der Schlacke von 2017 deuteten an, was sich später bestätigte: Sie enthielt metallisches Eisen. Wengleich der Anteil an Eisen nicht so hoch war wie bei dem analysierten Exemplar aus der gleichen Versuchsreihe, so zeigte sich

Abb. 3 A: Fayalit-Schlacke mit beginnendem Eisenschwamm; B: Luppe mit Hohlräumen und Schlackenfüllung; C: Ferrit (hell) mit sehr wenig Perlit (bläulich); D: Stahl aus Ferrit und Perlit (Fotos: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/D. Demant).



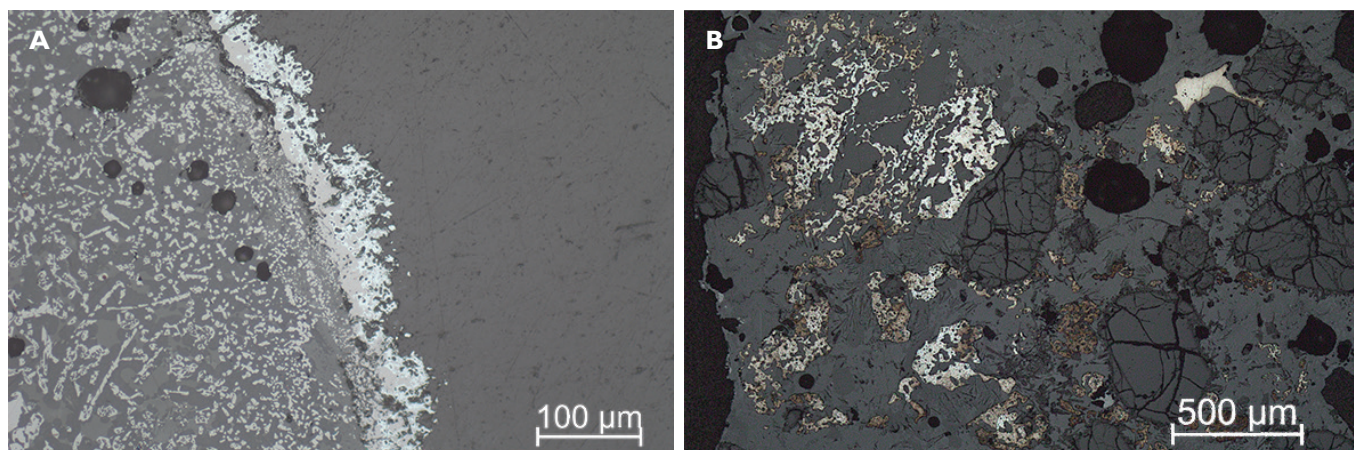


Abb. 4 A: Reduktionsstufen des Eisenerzes (bläulich: Hämatit; hellgrau: Magnetit; dunkelgrau: Schlacke); B: Ferritische Luppe in glasiger Schlacke (Fotos: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/D. Demant).

dennoch die für Luppen typische Verwachsung von Metall und Schlacke. Somit bestätigt sich die Hypothese des Vorjahres, dass während der Verhüttung nicht nur eine Luppe im Ofen entstand, sondern mehrere kleine.

Ausgewählte Zonen der gesägten Objekte, Anschliffe von Schlacke und Eisen, wurden anschließend unter dem Mikroskop untersucht. Zum einen handelt es sich um eine eisenreiche Silikatschlacke. Die sogenannte Fayalitschlacke (Fe_2SiO_4) enthält sehr viel Wüstit (FeO) und vereinzelt kleine Ansammlungen metallischen Eisens. Dies ist typisch für Schlacken aus dem Rennofenprozess.

Die Luppe erscheint ebenfalls in einem gewohnten Bild (**Abb. 3**): Neben sehr massiv anmutenden Bereichen gibt es auch Areale, in denen das Eisen nur sehr locker miteinander verbunden ist (A, B). Die metallografische Untersuchung des Metalls ergab, dass der Kohlenstoffgehalt unregelmäßig von annähernd keinem Kohlenstoff bis ca. 0,3 % schwankt. Im Gefügebild zeigt sich dies in Bereichen aus reinem Ferrit (kein Kohlenstoff) und Regionen mit Mischungen aus Ferrit und Perlit (leicht erhöhter Kohlenstoffanteil; C, D). Auch dies bestätigt das bisherige Ergebnis des Experimentes, denn in der bereits untersuchten Luppe von 2017 wurde ein heterogenes Stahlgemisch mit den gleichen Schwankungen im Kohlenstoffgehalt dokumentiert.

Schon beim Auftrennen der Schlacken vom Versuch 2018 fielen jedoch klare Unterschiede auf. So konnten sie mit weniger Mühe gesägt werden, waren also nicht so hart und es kam zu keiner Funkenbildung. Somit lag hier schon die Befürchtung nahe, dass kein oder nur wenig Eisen entstanden war. Dies wurde beim Blick auf die Schnitte bestätigt. Um zu verstehen, was zu diesem Negativergebnis geführt hatte, wurde ebenfalls eine mikrosko-

pische Analyse angeschlossen. Bereits während des Zuschnittes der Probenstücke an einer Gesteinssäge konnten kleine Nester von Eisen entdeckt werden. Die anschließende Untersuchung zeigte deutlich, dass die Reduktion des Eisenerzes während der Verhüttung nicht vollständig stattgefunden hatte: Das Schlibbild wird dominiert von den verschiedenen Reduktionsstufen des Erzes, während metallisches Eisen hingegen kaum entstanden ist (**Abb. 4**).

Dieses Ergebnis verwundert, denn 2018 konnte, fußend auf den Erfahrungen der Experimentreihe 2017, eine deutlich optimierte Prozessführung erreicht werden – jedoch wohl nur scheinbar. Im Gegensatz zu 2017 wurde 2018 nicht massiv Sauerstoff mit künstlichen Gebläsen in den Verhüttungsprozess geführt. Stattdessen wurde der Verhüttungsprozess länger bei (scheinbaren?) Idealttemperaturen geführt. Es gilt nun zu überprüfen, ob die Änderungen der Prozessführung, die Messtechnik oder die Probenauswahl für die Archäometallurgie dieses Zwischenergebnis begründen.

Um die Experimente abzuschließen, steht als letzter Schritt zum einen das Ausschmieden der Luppe im Fokus. Hierbei soll geklärt werden, wieviel Eisen bei diesem Schritt noch verloren geht und welche Güte das Eisen erreicht, nachdem es durch den Schmiedeprozess homogenisiert worden ist. Zum anderen soll der Experimentofen auf die Auswirkungen der beiden Experimentreihen detailliert untersucht werden.

Summary

In 2017 and 2018, as part of a major collaborative research project at the LWL Open-Air Museum Hagen, smelting experiments were conducted in an Iron Age Siegerland cupola

furnace. The archaeological analysis focused mainly on the various stages of reduction of the ores, as well as on the slags and blooms, which provided further insight into the smelting process.

Samenvatting

In 2017 en 2018 is in het LWL-Freilichtmuseum Hagen geëxperimenteerd met ijzerproductie door middel van een koepeloven uit de ijzertijd van een type gevonden in het Siegerland. De archeologische analyse van de resultaten richt zich vooral op ertsen met hun verschillende reductiefasen en op slakken en loepen, die het smeltproces verhelderen.

Literatur

Gerd Goldenberg, Die Schlacken und ihre Analysen – Relikte der Metallgewinnung und Metallverarbeitung. In: Heiko Steuer u. a., Erze, Schlacken und Metalle – Früher Bergbau im Südschwarzwald (Freiburg 1990) 147–172. – **Guntram Gassmann/Ünsal Yalçın/Moritz Jansen**, Archäometallurgische Untersuchungen zur Primärproduktion des Eisens im Siegerland. Siegerland 87/2, 2010, 161–173. – **Daniel Demant/Jennifer Garner/Manuel Zeiler**, Das archäologische Experiment – eisenzeitliche Eisengewinnung im Siegerland. Archäologie in Westfalen-Lippe 2018, 2019, 263–266. – **Udo Neumann**, Guide for the Microscopical Identification of Ore and Gangue Minerals (Tübingen 2019).

Ein augusteischer Dolch aus Haltern am See – Beobachtungen zur Konstruktion

Kreis Recklinghausen, Regierungsbezirk Münster

Eugen Müsch,
Ulrich Lehmann

Die Entdeckung römischer Blankwaffen bei archäologischen Ausgrabungen ist selten. Daher sollte der Dolch, der während der Kampagne 2019 im Gräberfeld von Haltern am See gefunden wurde (s. Beitrag S. 81), bestmöglich untersucht und restauriert werden (Abb. 1).

Bereits im ersten Röntgenbild wurde deutlich, dass es sich um einen frühkaiserzeitlichen Militärdolch (*pugio*) mit flächendeckenden filigranen Tauschierungen der Griffpartien und der Scheidenvorderseite handelte. Ein vergleichbares Stück war bereits 1967 in Haltern gefunden worden – ohne Scheide und Wehrgurt – und hatte eine aufwendige Griffkonstruktion offenbart.

Um wichtige Hinweise auf Konstruktion und Zustand der Waffe zu erhalten, wurde sie vor der Restaurierung computertomografisch untersucht. Die Analyse führte die CTM-do in Dortmund als Helix-CT-Scan durch, bei dem das gesamte Objekt in einer einzigen Messung erfasst wird. Der im Block geborgene Wehrgurt (*cingulum*), auf den hier nicht näher eingegangen werden kann, wurde parallel im TPW Prüfzentrum in Neuss computertomografisch untersucht.

Die CT-Bilder gaben nicht nur Auskunft über die Griffkonstruktion, sondern auch über

die Erhaltung der zahlreichen Tauschierarbeiten und Emailleinlagen, die sich auf den Nietköpfen und den Dekorfeldern der Scheidenvorderseite finden. Sie lieferten damit hilfreiche Informationen für die anschließende Restaurierung. Außerdem belegt die Messung, dass die Klinge des Dolches mehrteilig war und ein Schweißmuster aus wahrscheinlich vier hellen Linien beiderseits der Mittelrippe aufwies (Abb. 2). Vergleichsfunde lassen vermuten, dass sie aus dünnen Lagen einer Eisen-Phosphor-Legierung bestehen. Hinzu kommen wohl angeschweißte und möglicherweise gehärtete Schneiden.

Im Zuge der Restaurierung konnte der gut erhaltene Dolch mithilfe verschiedener technischer Verfahren aus der Scheide entnommen werden, die durch Frostsprengung bereits im Boden aufgerissen war (Abb. 3). Dies ermöglichte nicht nur Einblicke in die Scheidenkonstruktion, es konnten auch Proben der dünnen Holzaukleidung für die Holzbestimmung entnommen und die charakteristisch geschweifte Klinge mit je zwei Blutrinnen auf jeder Seite sowie der im Querschnitt raufenförmigen Spitze optisch beurteilt werden. Ursula Tegtmeier (Universität zu Köln) bestimmte die Auskleidung der Scheide und die