

# Das archäologische Experiment – eisenzeitliche Eisengewinnung im Siegerland

Kreis Siegen-Wittgenstein, Regierungsbezirk Arnsberg

Daniel Demant,  
Jennifer Garner,  
Manuel Zeiler

2017 startete ein interdisziplinäres Projekt zur Erforschung der eisenzeitlichen Eisenverhüttung (Rennfeuerverhüttung) des Siegerlandes. Das Projekt wird von einer Kooperation aus LWL-Archäologie für Westfalen, Deutschem Bergbau-Museum Bochum, Ruhr-Universität Bochum, LWL-Freilichtmuseum Hagen sowie Römisch-Germanischem Zentralmuseum Mainz realisiert. Mit archäologischen Experimenten werden unbekannte Aspekte zum Ofenbau und vor allem zur Betriebsführung der Verhüttung erprobt und nachvollzogen. Im Siegerland wurde während der letzten Jahrhunderte v. Chr., in der späten Eisenzeit, in den größten Öfen dieser Epoche in Europa Erz verhüttet und große Mengen Eisen produziert, wobei archäologische Ausgrabungen sowie archäometallurgische Analysen bislang nicht ausreichen, essenzielle Forschungsfragen zu lösen. Das wären z. B.: Wie verlief die Verhüttung? Welche Eisenqualität wurde in den Öfen produziert? Welcher Brennstoff wurde benötigt und wie groß war der Ressourcenbedarf?

Der theoretische Ablauf der Rennfeuerverhüttung ist bekannt: Hierbei wird Erz, in dem das Eisen zumeist als Eisenoxid ( $\text{FeO}$ ) mit verschiedenen Mineralen und Gesteinen verwachsen ist, bei Temperaturen um  $1100^\circ\text{C}$  von dem Restgestein getrennt. Dies geschieht unter reduzierenden (sauerstoffarmen) Bedingungen. Dem Erz wird so permanent Sauerstoff entzogen, bis es sich im festen bis teigigen Zustand zu metallischem Eisen (Luppe) umgewandelt hat. Gleichzeitig werden die unerwünschten Bestandteile des Erzes als flüssige (fayalitische) Schlacke abgeführt (daher der Name »Rennfeuer« vom Rennen = Rinnen der Schlacke). Die Wandlung der Luppe geschieht im Wesentlichen in drei Reduktionsschritten: Im ersten Schritt wird das Erz (wie z. B. Hämatit,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zu Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), im zweiten Schritt das Magnetit zu Wüstit ( $\text{FeO}$ ) und schließlich Wüstit zu metallischem Eisen ( $\text{Fe}$ ) reduziert.

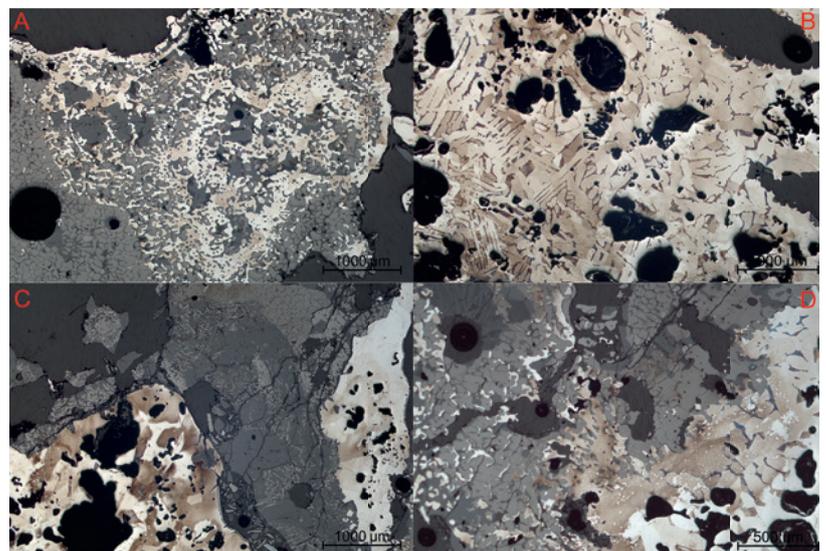
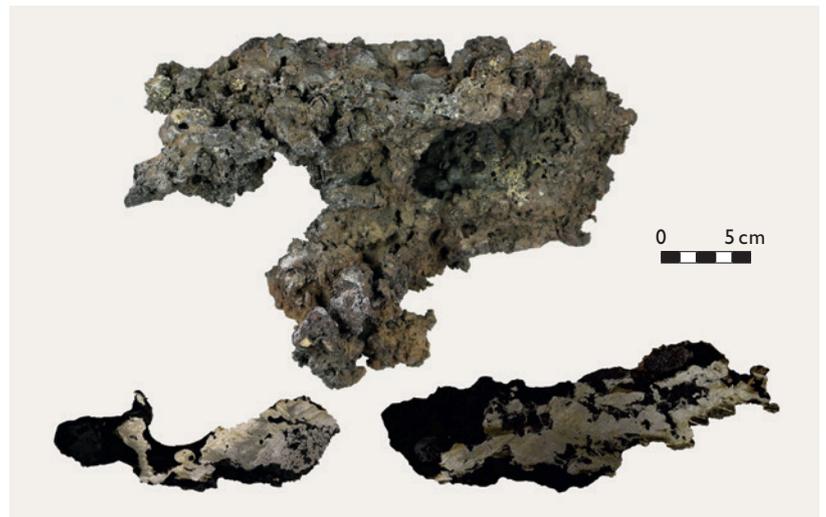
Bereits im Experiment 2017 wurde Luppe produziert (Abb. 1). Aufgrund der anhaften-

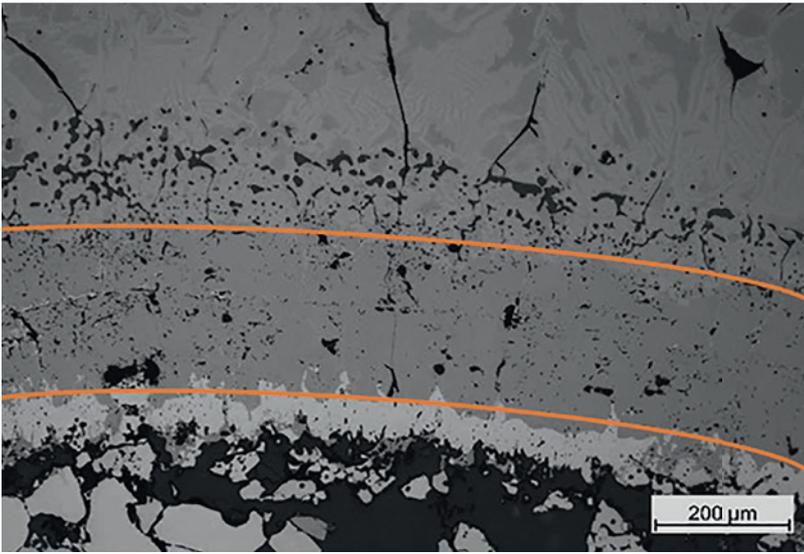
den Verunreinigungen (Schlacke) konnte ihre Größe zunächst nicht abgeschätzt werden. Da die Luppe aber für weitere Untersuchungen zersägt werden musste, wurden die Schnitte so gelegt, dass ihre größten Ausmaße erfasst wurden. Diese haben ergeben, dass das ungefähr  $20\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  große Untersuchungsobjekt zu ca. 60 % aus metallischem Eisen besteht.

Für die metallografische Untersuchung wurde ein mittleres Stück der durchgesägten Luppe ausgesucht und daraus zwei Anschlif-

Abb. 1 (unten) Luppe und deren Querschnitte (Fotos: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/D. Demant).

Abb. 2 (ganz unten) A: Ferrit neben Wüstit in fayalitischer Schlacke; B: Ferritisch-perlitischer Stahl; C: Ferritische Luppe durchgezogen mit Schlacke; D: Links Ferrit und rechts Ferrit-Perlit (Fotos: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/D. Demant).





**Abb. 3** Mikrofoto der drei Reduktionsstufen des Eisens in unterschiedlichen Grautönen. Unten: Ausgangserz Hämatit; Mitte: Magnetit; Oben: Umwandlung Hämatit zu Wüstit (Foto: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/D. Demant).

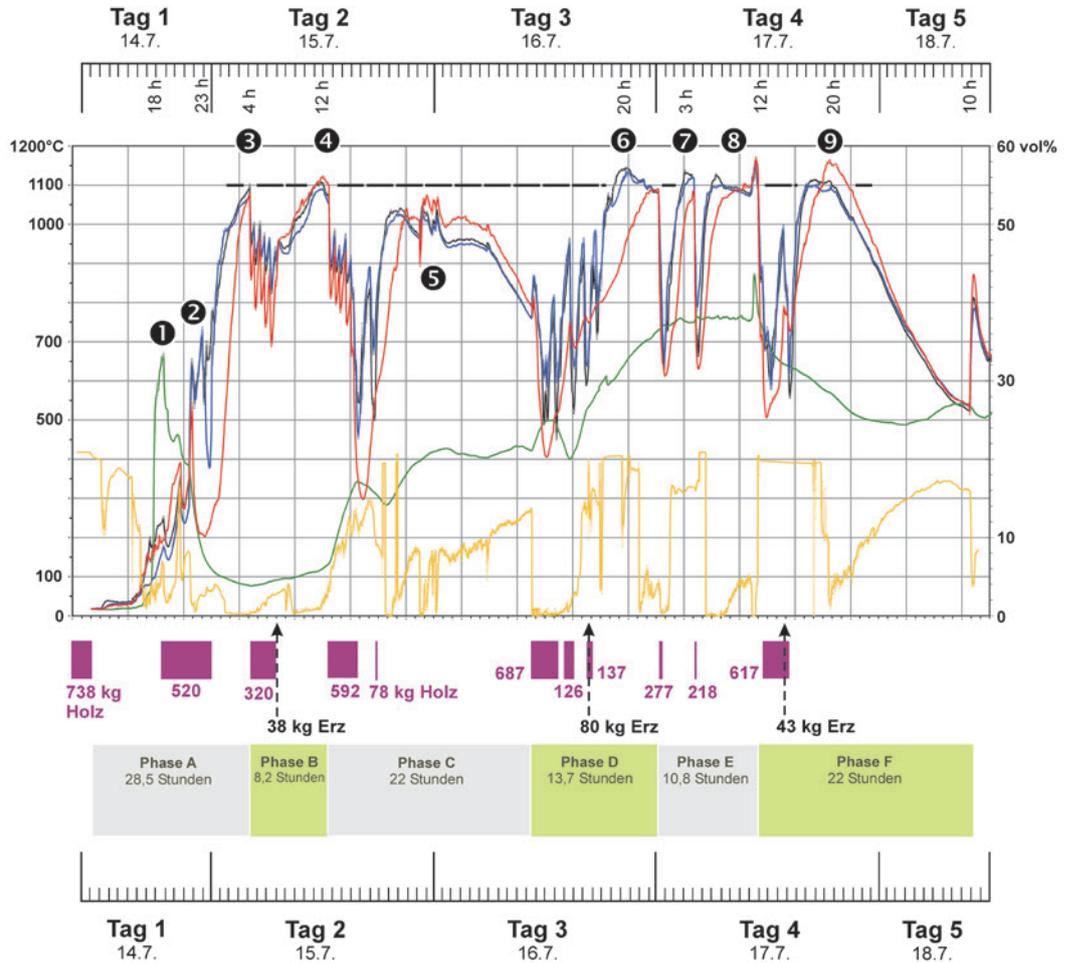
fe gefertigt. In beiden Schliffrufen zeigt sich unter dem Mikroskop das zu erwartende Bild: An beiden Randbereichen befinden sich Zonen in denen Wüstit zu metallischem Eisen reduziert ist. Bei dem Stahl handelt es sich hier um Ferrit mit leicht erhöhtem Kohlenstoffanteil (< 0,02 % C), sodass eigentlich von Eisen zu sprechen wäre. Der Großteil der Luppe besteht

hingegen aus Stahl. Die Gefügebilder zeigen eine Mischung aus Ferrit und streifenförmigen Strukturen (Perlit), was auf einen schwankenden Kohlenstoffgehalt zwischen 0,1 % und 0,2 % schließen lässt (Abb. 2).

Ein kleines Teilstück fiel ins Auge, bei dem es sich offensichtlich um nur oberflächlich angeschmolzenes Ausgangserz handelte. Seine mikroskopische Untersuchung weist drei Regionen mit unterschiedlichen Graustufen auf. Diese Schichtung geht auf den mehrstufigen Reduktionsprozess zurück, denn hier wurden bei der Beendigung des Experiments die Reduktionsschritte Hämatit, Magnetit und Wüstit »eingefroren« (Abb. 3).

Das archäologische Experiment 2018 nutzte wieder ausschließlich Holz als Brennstoff, setzte diesmal keine künstlichen Gebläse ein und war von Anfang an auf lange Arbeitsphasen konzipiert. 2017 war durch die Experimentreihe erkannt worden, dass die Größe des Ofens und ausdauernde Beschickungs- und Brennphasen das Einstellen von Idealbedingungen begünstigen. Diese bestehen aus Temperaturen über 1100 °C und sauerstoffarmer Atmosphäre – und das über Stunden.

**Abb. 4** Temperatur- und Sauerstoffdiagramm des Verhüttungsexperimentes im Zeitraum vom 14. (9 Uhr) bis 18. Juli (12 Uhr). Die linke Hochachse bezeichnet die Temperaturwerte (°C; schwarze, grüne, blaue und rote Kurven) und die rechte Hochachse den Sauerstoffgehalt (Vol%; gelbe Kurve) im Ofen. Lila Felder stehen für das Einfüllen von Holz als Brennstoff (in kg). Schwarz gestrichelte Pfeile geben das Einfüllen von Erz wieder (Grafik: Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz/E. Hanning mit Ergänzungen LWL-Archäologie für Westfalen/M. Zeiler).



2018 wurde daher eine durchgehende Ofenreise von fünf Tagen und vier Nächten konzipiert (Abb. 4) und mittels Messsonden Temperatur und Sauerstoffgehalt im Ofen gemessen (Abb. 5). Getestet wurden im Schwerpunkt Parameter der Beschickung und welchen Einfluss sie auf die Prozessführung haben können. Nachdem am ersten Tag der zuvor befüllte Ofen entzündet war und allmählich nach weiterer Beschickung durchglühte (Abb. 4, I. 2), erreichte der Ofen über Stunden ohne weiteres Zutun nicht den optimalen Zustand (Temperaturen bei 1100 °C und Sauerstoffarmut; Abb. 4, 3). Daher wurde über drei Stunden Holz zugegeben, wonach die Temperaturen mittig und im Oberteil des Ofens langsam anstiegen und knapp die 1100 °C-Linie überschritten. Gleichzeitig stieg die Temperatur an der Ofensohle langsam an (Abb. 4, Phase B) und erstmals wurde Schlackenfluss im Ofen festgestellt (Abb. 4, 4). Der Glutkörper im Ofen war aber noch zu klein, weswegen die Temperaturen rasch wieder abfielen und kurzfristig das Optimum auch nicht durch eine mehrstündige und ressourcenintensive Beschickungsphase wieder erreicht werden konnte (Abb. 4, Phase C). Allerdings führten die Arbeiten dazu, dass die Gluttemperatur im Unterteil des Ofens um mehrere Hundert Grad stieg. Dies wird der Grund dafür gewesen sein, dass die nächste umfangreiche Beschickungsphase am dritten Tag mehr Erfolg hatte (Abb. 4, Phase D). Nun wurden auch im Oberteil des Ofens Temperaturen über 1100 °C erreicht, wobei aber der gemessene Sauerstoffgehalt im Ofen nicht optimal war (Abb. 4, 6). Motiviert durch abfallende Temperaturen (Abb. 4, vor Phase E), entschlossen wir uns, vor Phase E erneut Brennstoff zuzuführen. Dies führte zu Temperaturanstiegen im oberen Ofendrittel auf Wunschttemperaturen bei ungünstigen Sauerstoffgehalten (Abb. 4, 7. 8). Es gelang allerdings nicht, in der Ofenmitte (Abb. 4, rote Kurve) Idealttemperaturen zu erzielen. Durch die bis dahin erreichten Temperaturen im Unterteil des Ofens wurden die Steigerungen aber erheblich effizienter bzw. ressourcenschonender. Der Idealzustand wurde erst erreicht, nachdem eine erneute intensive Schürphase (Abb. 4, Phase F) durchgeführt wurde und sich im Mittelteil des Ofens, nach Abbrand des Holzes darüber, eine ideale Atmosphäre über Stunden einstellen konnte (Abb. 4, 9). Folglich steht fest, dass der Ofen funktionieren kann, wenn in der unteren Hälfte eine Temperatur ab/über 500 °C



erreicht ist und er nach einer intensiven Beschickungsphase über viele Stunden sich selbst überlassen bleibt.

Von besonderer Bedeutung ist, dass der Siegerländer Ofen einen kontinuierlichen Prozess ermöglichen könnte: Während des Experimentes wurde er über den Schürkanal (Abb. 5, S) geöffnet, Schlacken ausgeräumt, verschlossen und ohne Unterbrechung erfolgreich weiterbetrieben (Abb. 4, 8). Ein Ausrufezeichen der Hüttentechnik!

### Summary

An archaeological experiment focusing on Iron Age iron production in the Siegerland region continued in 2018. The experiment was successful in achieving continuous smelting

Abb. 5 Der Ofen am vierten Tag des Experimentes (Phase E), kurz vor der ersten Öffnung des Schürkanals (S). 1, 2 und 7: Lage der Temperaturmesssonden in der Ofenwand. Sonde 3 befindet sich auf der rückwärtigen, hier nicht sichtbaren Seite des Ofens auf Höhe von Sonde 1; O<sub>2</sub>: Lage der Sauerstoffmesssonde in der Ofenwand (Foto: LWL-Archäologie für Westfalen/M. Zeiler).

for five days and four nights. Archaeometallurgical analyses carried out on bloom from the 2017 experiment showed that it consisted mainly of steel and that all steps in the reduction process can be identified in the material.

### Samenvatting

In 2018 is een archeologisch experiment voortgezet om een betere kennis te verwerven van de ijzerproductie in de ijzertijd in het Siegerland. Het is gelukt om gedurende vijf dagen en vier nachten een continue productieproces in gang te houden. Archeometallurgische analyses aan ruw ijzer (wolf) uit een proefneming in 2017 lieten zien dat deze hoofdzakelijk uit staal bestaat en dat alle stadia van reductie aantoonbaar zijn.

### Literatur

**Egon Kauczor**, Metall unter dem Mikroskop. Einführung in die metallographische Gefügelehre (Berlin 1974). – **David A. Scott**, Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals (Marina del Rey 1991). – **Thomas Birch**, Abandoned or Unused? Ultra-high Carbon Steel and Cast Iron Lumps from Sendlach/Eisner. In: Brigitte Czech (Hrsg.), Die Produktion von Ferrum Noricum am Hüttenberger Erzberg (Wien 2017) 131–149. – **Jennifer Garner/Manuel Zeiler**, Experimentelle Archäologie – Bau und Betrieb eines Siegerländer Rennofens der Eisenzeit. Archäologie in Westfalen-Lippe 2017, 2018, 265–267.

Eva Cichy,  
Bastian Ditthardt,  
Thorsten Rabsilber

Schulprojekt

## Lokalgeschichte zum Anfassen – »Archäologie für Schulen« in der Lippeaue von Hamm

Kreisfreie Stadt Hamm, Regierungsbezirk Arnsberg

Wie begeistert man Schüler und Schülerinnen für die Geschichte ihres Heimatortes? Indem man ihnen ermöglicht, sie persönlich mit auszugraben! 35 Schulklassen mit rund 1000 Schülern und Schülerinnen haben 2018 hoch motiviert an einer Grabung in der Lippeaue von Hamm mitgearbeitet: Es ging um die Suche nach Nienbrügge, als Keimzelle der späteren Stadt ein Hotspot der Hammer Geschichte. Die Burg Nienbrügge mit der zugehörigen Stadt (12./13. Jahrhundert) wird in der Aue nördlich des heutigen Datteln-Hamm-Kanals vermutet; eine erste Untersuchung der LWL-Archäologie für Westfalen 2011 hatte bereits entsprechende Befunde erbracht. In diesem Gebiet soll in den nächsten Jahren eine Umgestaltung der Landschaft zu einem Erlebnisraum mit renaturiertem Lippeverlauf erfolgen, in deren Rahmen ein historisch-archäologisch-geoarchäologischer Fachbeitrag für den gesamten Projektraum erstellt wurde.

Während der Abstimmung zwischen dem Umweltamt der Stadt Hamm und der Außenstelle Olpe der LWL-Archäologie für Westfalen kam früh die Idee auf, die notwendigen archäologischen Untersuchungen durch Beteiligung der Hammer Schulen mit einer

sozialen Komponente zu versehen. Diesem Konzept folgend wurde eine dreigeteilte Unterrichtssequenz entwickelt, bestehend aus einer ökologischen, regionalgeschichtlichen und grabungsmethodischen Einführung, dem Grabungsbesuch als Tagesveranstaltung sowie einer abschließenden Reflexion in der Schule. Für den einführenden Unterricht wurde durch die Firma Posselt & Zickgraf Prospektionen GbR in Zusammenarbeit mit dem Umweltamt und dem Regionalen Bildungsbüro Hamm sowie Björn Onken von der Universität Duisburg-Essen als wissenschaftlichem Beirat umfangreiches Unterrichtsmaterial entworfen und an die Schulen verteilt.

Der Besuch der Klassen auf der Grabung wurde in Form eines Lernzirkels über sechs Stationen realisiert (Abb. 1). Dadurch konnten die Klassen in kleinere Gruppen geteilt werden, was die Betreuung auf der Grabungsfläche erleichterte. Zugrunde lag dabei der Gedanke, dass die Teilnehmenden einen Fund (hier: Keramik) von seiner Entdeckung über die wissenschaftliche Bearbeitung bis zu seiner Veröffentlichung begleiten sollten. Die nachbereitenden Stationen hatten das sachgemäße Kleben und Zeichnen fragmentierter Keramik,