

# Experimentelle Archäologie: Verhüttungsexperiment in einem Siegerlandländer Kuppelofen

Jennifer Garner und Manuel Zeiler

**Das Siegerland, im südlichen Westfalen sowie im nördlichen Rheinland-Pfalz gelegen, blickt auf eine über 2000 Jahre alte Geschichte der Eisengewinnung zurück. Noch bis in die 1960er Jahre hinein spielte die Herstellung von Eisen eine bedeutende Rolle in der Region. Die Grundlage hierfür bildeten zum einen die großen Sideritvorkommen mit ihren Sekundärerzen und zum anderen – bis in die Phase der Hochindustrialisierung – der Waldreichtum zur Holzkohleproduktion als Brennstoff für die Hüttenwerke.**

Die Anfänge der Eisengewinnung gehen vermutlich auf Migranten aus Süddeutschland zurück, die im 3. Jahrhundert v. u. Z., möglicherweise aber bereits im 4. Jahrhundert v. u. Z. das Siegerland aufgrund seines Rohstoffreichtums aufsuchten. Zuvor stand das klimatisch ungünstige Bergland mit seinen schweren und relativ unfruchtbaren Böden generell nicht im Fokus der bäuerlich geprägten Gesellschaften. Ab dem 3. Jahrhundert v. u. Z. formte sich jedoch eine regelrechte Produktionslandschaft aus hunderten Verhüttungswerkstätten, Weiterverarbeitungswerkstätten sowie Kleinsiedlungen, welche den Schwerpunkt eines langjährigen Forschungsprojektes des Deutschen Bergbau-Museums Bochum bildeten. Diese Produktionslandschaft war sowohl technisch als auch organisatorisch ausgereift, sehr einheitlich und entstand innerhalb einer kurzen Zeit. Daher ist davon auszugehen, dass es sich bei den Migranten bereits um Spezialisten (Prospektoren, Bergleute, Hüttenleute, Schmiede etc.) gehandelt haben muss.

Das besondere an der eisenzeitlichen Verhüttung im Siegerland sind jedoch die Verhüttungsöfen selbst. Im Gegensatz zu den bekannteren Anlagen aus der Kaiserzeit Norddeutschlands handelt es sich nicht um Schachtofen mit eingetiefter Schlackengrube, sondern um birnenförmige Kuppelöfen, die

tief im Hang eingebaut waren, so dass nur Gicht, Ofenvorderseite (Ofenbrust) und Schürkanal sichtbar waren. Die teilweise mannshohen Öfen besaßen einen imposanten Innendurchmesser im Kuppelbereich von bis zu 1,20 m und waren damit die größten Verhüttungsöfen ihrer Epoche in Mitteleuropa. Ein Ofenbefund offenbarte sogar das Vorhandensein von Düsen im Kuppelbereich. An der Ofenbrust schloss ein zumeist 80 cm breiter und bis zu mindestens 50 cm langer Schürkanal an, der aus zwei Setzsteinen bestand, auf die eine Deckplatte aufgelegt wurde. Dieser Schürkanal wiederum führte zu einem Arbeitskanal, in dem das erste Ausschmieden der Luppe stattfand. Ein weiteres Charakteristikum der Öfen ist, dass sie mehrfach betrieben wurden. Denn Ausgrabungen belegten vielfach Reparaturphasen oder trafen unzerstörte, aber ausgeräumte Rennöfen an, die wohl über den Schürkanal entleert worden waren.

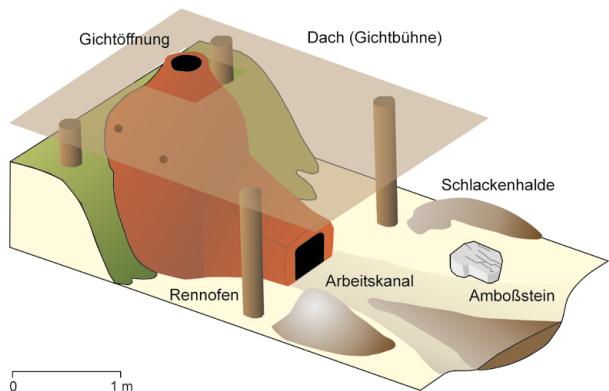
Als Erze wurden ausschließlich Sekundärerze des Siderits, wie Limonit, Goethit oder Hämatit, verwendet, die aus dem sog. »eisernen Hut«, einer oberflächennahen Verwitterungszone, stammen. Diese wurden auf Haselnussgröße zerkleinert und in einer flachen, ovalen Grube im offenen Feuer geröstet. Das Rösten wurde nicht durchgeführt, um sulfidische Bestandteile (z.B. Schwefel) zu lösen, denn es handelt sich hierbei um oxidische Erze ohne sulfidische Bestandteile, sondern um das Erz zu trocknen und spröde zu machen. Dies erleichtert den anschließenden Verhüttungsprozess.

Das Eisen wurde im sogenannten »Rennfeuerverfahren« gewonnen, auch »direktes« Verfahren genannt. Im Gegensatz zum heute angewendeten Hochofenprozess, bei dem das Eisen verflüssigt und Roheisen produziert wird, welches aber nicht schmiedbar ist, wird im Rennofenprozess das Eisen in einem festen bis teigigen Zustand unter Bildung einer flüssigen Schlacke gewonnen. Dies erfolgt bei niedrigen Temperaturen bis 1200 °C durch permanenten Sauerstoffentzug (Reduktion). Dadurch wandelt sich das Eisenerz in mehreren Stufen über mehrere Zwischenprodukte (Magnetit und Wüstit) in metallisches Eisen um. Die Schlacke rinnt während des Verhüttungsprozesses nach unten (der Name Renn-

feuer stammt vom »rennen = rinnen« der Schlacke) und setzt sich als Schlackenklotz am Boden des Ofens ab. Diese Schlacke wurde im Ofen belassen und nicht wie in späteren Epochen über ein Loch per Abstich nach außen abgeführt. Ein Bestandteil des Schlackenklotzes ist die sogenannte »Luppe«, eine Art Kuchen mit angereichertem metallischem Eisen, Schlacken und unaufgeschmolzenen Erzen. Da das Eisen in der Luppe nicht homogen, sondern mit Schlacken verunreinigt ist, musste das Eisen in einem nächsten Schritt ausgeschmiedet, d.h. von den Schlacken gereinigt werden. Hierzu wurde der Ofen geöffnet, der Schlackenklotz nach außen gezogen, die Luppe abgetrennt und durch Schmieden gereinigt. Dies erfolgte unmittelbar am Ofen in dem bereits erwähnten vorgelagerten Arbeitskanal, vermutlich direkt nach der Verhüttung im noch heißen Zustand.

Obwohl viele Öfen durch zahlreiche archäologische Ausgrabungen untersucht wurden, blieben viele Fragen zur Betriebsführung und Funktionsweise offen. Während bei den zeitgleichen eisenzeitlichen Schachtöfen das Prinzip durch unzählige Verhüttungsversuche verstanden worden und auch erfolgreich Schmiedeeisen experimentalarchäologisch hergestellt worden ist, wurden bis zum Beginn unserer Experimentreihe keine archäologischen Experimente mit einem Siegerländer Kuppelofen durchgeführt. Zwar wurden tatsächlich seit den 1950er Jahren mehrfach Öfen nachgebaut und mit ihnen Verhüttungsversuche gestartet, allerdings hatten diese Öfen allenfalls Ähnlichkeiten mit den ausgegrabenen Anlagen. Bemerkenswert ist, dass dabei nie die tatsächlichen archäologischen Befunde rekonstruiert wurden, sondern vielmehr lediglich jeweils davon deutlich abweichende Interpretationen. Das Hauptargument hierfür lag fast immer in der Überzeugung, dass aus hüttentechnischer Sicht die Verhüttung in einem Kuppelofen nicht funktionieren könne, weshalb allen bisherigen Nachbauten gemeinsam ist, dass sie als Schachtöfen gebaut wurden.

Somit waren grundlegende Fragen ungeklärt: Warum befanden sich beispielsweise die Düsen im Kuppelbereich des Ofens, wenn sie sich beim Schachtöfen doch unten befinden? Was ist der Zweck des vorgesetzten Schürkanals, der sowohl während der Ofenreise als auch beim Herausholen der Luppe und Schlacken eher hinderlich wirkt? Zudem waren auch der Arbeitsaufwand und die Materialmenge beim Ofenbau, die Höhe des Brennstoffbedarfs während der Verhüttung oder auch die Menge der Eisenausbringung pro Verhüttungsgang unbekannt.



*Ofenschema: Idealtypische Darstellung eines Siegerländer Kuppelofens (Grafik: LWL-Archäologie für Westfalen/M. Zeiler).*

## Das Experiment

Eine Möglichkeit sich dieser Fragestellung zu nähern, war der Nachbau und Betrieb eines solchen Ofens. So wurde eine archäologische Experimentreihe 2017 und 2018 im LWL-Freilichtmuseum Hagen realisiert. Bereits der Bau des Ofens erbrachte unerwartete Erkenntnisse, da der Materialaufwand sehr hoch war. Zum Bau des Ofens waren über eine Tonne Lehm und zwei Tonnen kaolinhaltige Tonerde neben hunderten Litern Wasser sowie knapp einem Raummeter Holz nötig. Letzteres zum Bau eines Leergerüstes, über dem der Ofenmantel aufgebracht wurde. Wie beim archäologischen Befund wurden Düsenlöcher durch die Ofenschulter eingebracht. Der Ofenbau benötigte mehrere Wochen und idealerweise sechs bis acht Arbeitskräfte täglich. Da im Experiment weder der verwendete Lehm noch die Tonerde gebrochen oder aufbereitet wurden, sondern lediglich der Lehm mit kaolinhaltiger Tonerde gemagert wurde, war folglich die Arbeitsleistung der eisenzeitlichen Erbauer noch weit höher.

Um die Prozesse während des Verhüttungsvorgangs zu verstehen, wurde der Ofen mit Sonden an verschiedenen Positionen ausgestattet, die permanent die Temperatur (mit neun Sensoren) und ebenso die Ofen-Atmosphäre (Sauerstoff-Gehalt mit zwei Sensoren) messen sollten. Eine Wetterstation registrierte die Umgebungsatmosphäre (Luftfeuchte, Temperatur, Windstärke). Auch stand ein künstliches Gebläse bereit, das bei Bedarf eingesetzt worden ist. All dies wurde genau protokolliert, zudem wann wieviel Holz und Erz in den Ofen gegeben wurde.

Bereits 2004 wurde diskutiert, dass die Siegerländer Rennöfen deswegen so groß waren, da in ihnen nicht mit Holzkohle, sondern mit Holz verhüttet wur-

de. Tatsächlich erbrachten über 100 Jahre archäologischer Forschungen im Siegerland zwar hunderte Eisenzeitfundstellen, jedoch keinen einzigen Hinweis auf Holzkohleproduktion (Meilerei), wie sie hingegen für das Mittelalter oder die Neuzeit vielfach archäologisch belegt ist. Folglich wurde nicht Holzkohle, sondern Holz im Experiment als Brennstoff verwendet. Es zeigte sich, dass sowohl dessen kontrollierte Vermeilierung im Ofen vor der Verhüttung möglich ist, als auch ohne diesen Umweg ein geeignetes Glut-Holzkohlepaket im Ofen für die Verhüttung hergestellt werden kann. Der Einsatz von künstlicher Luftzufuhr (Blasebälge) an den Düsenlöchern war stets nachteilig für den Prozess. Zwar ließ sich kurzfristig die Temperatur erhöhen, doch führte dies zu einem übersteigerten Holzverbrauch, indem das Holz nicht langsam verkohlte, sondern direkt zu Asche verbrannte wurde. Wurde hingegen der Ofen über Tage am Stück mit langsamen Aufheizphasen über vier bis acht Stunden gefahren, wonach sich erst neue Beschickungsphasen mit Holz oder Erz anschlossen, stellten sich im Ofen, ohne weiteres Zutun von außen, fast im gesamten Querschnitt Idealbedingungen ein. Dies wurde zufällig in der Experimentreihe 2017 entdeckt und 2018 systematisch über fünf Tage und vier Nächte am Stück erfolgreich wiederholt. Beide Experimentreihen erbrachten Luppen, die im Nachgang archäometallurgisch untersucht wurden.

Die Analysen zeigten, dass während der Verhüttung nicht nur eine Luppe im Ofen entstand, sondern mehrere kleine Luppen. Ein Umstand, der aufgrund der Dimensionen der Siegerländer Kuppelöfen nur logisch erscheint. Ausgewählte Zonen der gesägten Objekte, nämlich Anschlüsse von Schlacke und Eisen (Luppe), wurden anschließend unter dem Mikroskop untersucht. So handelt es sich zum einen um eine eisenreiche Silikatschlacke. Diese sogenannte Fayalitschlacke ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) enthält sehr viel Wüstit (FeO) und vereinzelt kleine Ansammlungen metallischen Eisens. Dies ist typisch für Schlacken aus dem Rennofenprozess.

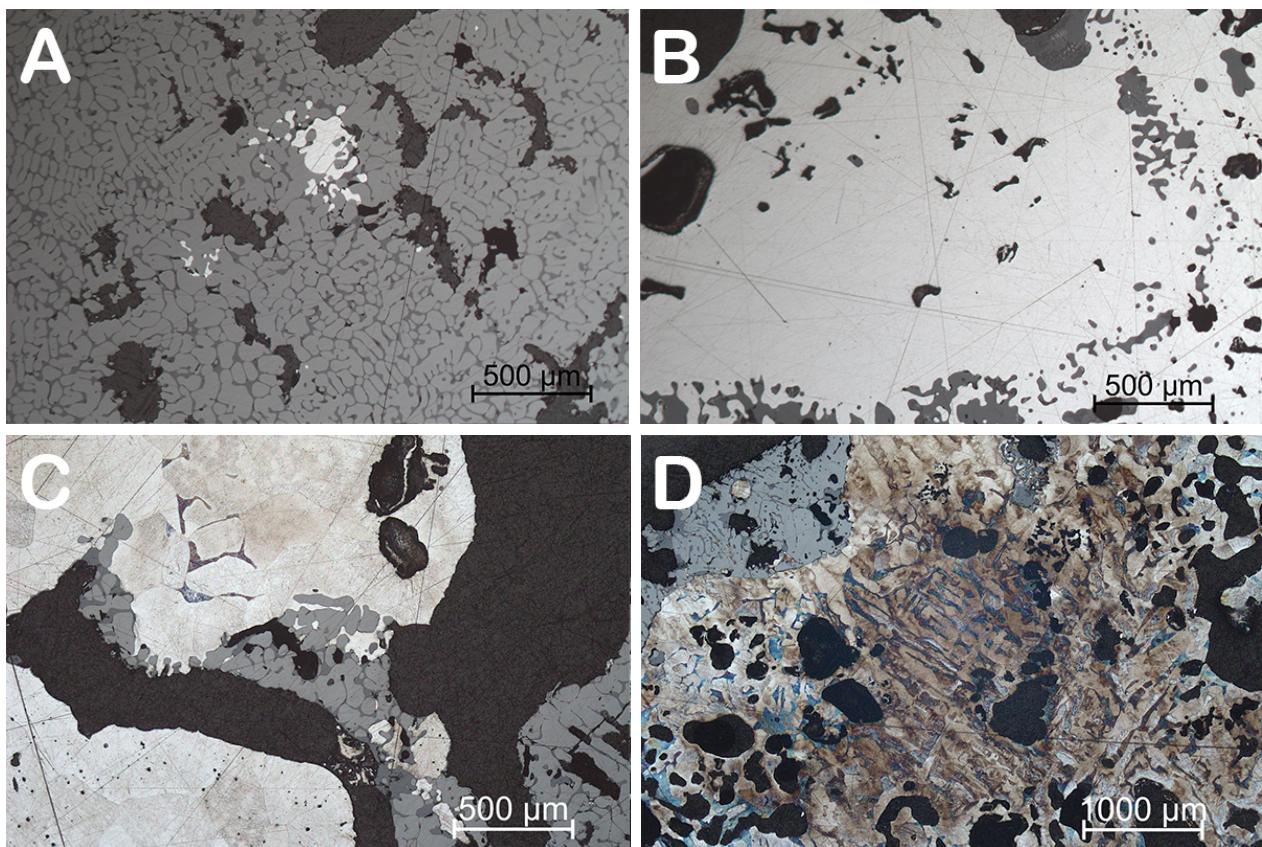
Die Luppe erscheint ebenfalls in einem gewohnten Bild. Neben sehr massiv anmutenden Bereichen gibt es auch Areale, in denen, wie auf den Abb. A und B, S. 51, das Eisen nur sehr locker miteinander verbunden ist. Die metallografische Untersuchung des Metalls ergab, dass der Kohlenstoffgehalt unregelmäßig von annähernd keinem Kohlenstoff bis ca. 0,3% schwankt. Im Gefügebild zeigt sich dies mit Bereichen aus reinem Ferrit (kein Kohlenstoff) und Regionen mit Mischungen aus Ferrit und Perlit (leicht erhöhter Kohlenstoffanteil; Abb. C und D, S. 51). Auch dies bestätigt das bisherige Ergebnis des Experiments.



*Ofennachbau: Während des Verhüttungsversuchs wurde genau dokumentiert, wann und wieviel Material (Erz, Holz) in den Ofen gegeben worden ist. Zudem wurden permanent die Temperatur- und Atmosphärenmessungen überwacht (Foto: LWL-Archäologie für Westfalen/M. Zeiler).*

Neben dem Nachweis von Holz als geeignetem Brennstoff sind weitere Ergebnisse zur Prozessführung bemerkenswert. Die Experimentreihe erbrachte, dass – sofern Holz und Erz in genügender Menge sowie aufbereitet vorliegen – eine kleine Mannschaft von zwei bis drei Personen ausreicht, um die Verhüttung durchzuführen. Da zwischen den einzelnen Arbeitsschritten teilweise vier bis acht Stunden Zeit besteht, ist es denkbar, dass mehrere Öfen gleichzeitig betrieben werden konnten, wenn sie zeitversetzt angeheizt wurden. Dies wäre ein Erklärungsansatz der archäologisch mehrfach nachgewiesenen, batterieartig angelegten Öfen an eisenzeitlichen Verhüttungswerkstätten.

Die Experimentreihen verschlangen viele Tonnen an Brennholz. Da die eisenzeitlichen Hüttenleute aufgrund ihrer Erfahrung sicher erheblich effektiver mit den Prozessen umgingen, war auch der Holzbedarf bei der eisenzeitlichen Verhüttung kleiner. Allerdings muss er dennoch erheblich in seinem Umfang



Dünnschliff: Anschlüsse an Schlacken und Luppen des Experiments (Foto: Deutsches Bergbau-Museum Bochum/D. Demant).

gewesen sein: Denn die Experimentreihe erbrachte den Nachweis, dass – ohne die Verhüttung abzubrechen – der Schürkanal geöffnet werden konnte und Schlacke sowie Luppe durch ihn geborgen werden können, um danach den Kanal erneut zu verschließen und die Verhüttung im noch heißen und

mit glühender Holzkohle vollen Ofen fortzusetzen. Die in der Verhüttung gewonnene Luppe wurde zumindest an den Verhüttungsplätzen gereinigt. Dieser Schritt wurde im Experiment nicht durchgeführt, da sonst die Luppen für die metallurgische Untersuchung verloren gewesen wäre.

## L I T E R A T U R

- D. Demant/J. Garner/M. Zeiler**, Das archäologische Experiment – eisenzeitliche Eisengewinnung im Siegerland, Archäologie in Westfalen-Lippe 2018, 2019, 263–266.
- J. Garner/M. Zeiler**, Experimentelle Archäologie – Bau und Betrieb eines Siegerländer Rennofens der Eisenzeit, Archäologie in Westfalen-Lippe 2017, 2018, 265–267.

**J. Garner/M. Zeiler**, Von der Archäologie zum Experiment: Neue Forschungen zur keltischen Eisentechnologie im Siegerland. In: Michael Farrenkopf, Stefan Siemer (Hrsg.): Materielle Kulturen des Bergbaus – Material Cultures of Mining. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 243 (Oldenbourg 2022), 93–111. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110729955-006/html>

## A U T O R

**Dr. Jennifer Garner**  
Forschungsbereich Montanarchäologie  
Deutsches Bergbau-Museum Bochum  
Am Bergbaumuseum 31  
44791 Bochum  
Jennifer.garner@bergbaumuseum.de

**Dr. Manuel Zeiler**  
LWL-Archäologie für Westfalen, Außenstelle Olpe  
In der Wüste 4  
57462 Olpe  
Manuel.zeiler@lwl.org