



DÜPPEL JOURNAL

Archäologie | Geschichte | Naturkunde

2018

WISSENSCHAFTLICHE BEITRÄGE



HEISSES EISEN AUS DEM RENNOFEN – FORTSETZUNG DER VERSUCHSREIHE ZUR EISENVERHÜTTUNG IM MUSEUMSDORF DÜPPEL

Markolf Brumlich

Abstract

An experiment with the Pre-Roman Iron Age bloomery furnace type “Glienicke” took place for the fourth time in the Museumsdorf Düppel in Berlin. In a 13.5 hour smelting process 14.1 kg iron bloom were produced from 57.1 kg of bog iron ore. By reducing the amount of the burnt charcoal it was possible to enhance the efficiency of the process. The smelting residues show similarities to those found on the archaeological excavations.

SCHLAGWÖRTER

Vorrömische Eisenzeit, Glienicke, Teltow, Metallurgie, Eisenverhüttung, Rennofenversuch, Luppe, Rennofen, Schlacke

KEYWORDS

Pre-Roman Iron Age, Glienicke, Teltow, metallurgy, iron smelting, experimental smelting, iron bloom, bloomery furnace, slag

Die Rennöfen vom Typ „Glienicke“ gehören zu den ältesten Eisenverhüttungsapparaten Mitteleuropas und stellten während der vorrömischen Eisenzeit (ca. 550–50 v. Chr.) in Teilen des Teltows einen regelrechten Standard dar (Abb. 1). Die archäologische Entdeckung dieses Rennofentyps erfolgte erst vor knapp zehn Jahren bei Ausgrabungen auf dem Fundplatz Glienicke 14 (Lkr. Teltow-Fläming), der unweit des Rangsdorfer Sees am nordöstlichen Rand der Glienicke-Platte liegt (Abb. 1,8). Die Grabungen an der dortigen Siedlung erbrachten umfangreiche Belege für eine lokale Eisenverhüttung und -verarbeitung, darunter die beachtliche Menge von 11,8 t Verhüttungsschlacke, die in den Rennöfen der Siedlung als Abfallprodukt entstanden ist (Brumlich 2018). Bei der Verarbeitung der erzeugten Eisenluppen, die unmittelbar neben den Rennöfen stattfand, gingen auch kleine Bruchstücke der Luppen verloren, die sich ebenfalls im archäologischen

Fundmaterial wiederfinden. Metallurgische Analysen der Luppenfragmente zeigen, dass in den Rennöfen vom Typ „Glienick“ Stahl, also eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung, mit unterschiedlich hohen Kohlenstoffgehalten produziert wurde (Lychatz 2018, 623–624, Tab. 8).

Im Jahr 2011 startete am Institut für Prähistorische Archäologie der Freien Universität Berlin eine Versuchsreihe zur Eisenverhüttung mit dem Ofentyp „Glienick“, mit der die Funktionsweise dieses für die Erforschung der Anfänge der Eisenerzeugung bedeutenden Rennofentyps auf praktische Weise näher untersucht wird (Brumlich, Lychatz 2015; Brumlich 2018, 327–357). Seit nunmehr schon vier Jahren finden die Versuche im Museumsdorf Düppel statt, das dafür in jeder Hinsicht hervorragende Voraussetzungen bietet (Brumlich, Lychatz 2016; Brumlich, Lychatz 2017; Brumlich, Lychatz 2018). Die metallurgische Betreuung der Experimente inklusive der Analysen von Einsatzstoffen, Abfallprodukten und Erzeugnissen erfolgt durch Bernd Lychatz vom Institut für Eisen- und Stahltechnologie der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Ersten Analysen der Eisenluppen nach wird in den Versuchsrennöfen ebenfalls Stahl erzeugt (Brumlich, Lychatz 2015, 69; Brumlich, Lychatz 2016, 60, 61).

Der Aufbau und die Arbeitsweise des Ofentyps „Glienick“ können nach den Ergebnissen der Ausgrabungen und der Rennofenversuche weitgehend rekonstruiert werden (Abb. 2). Es handelt sich um eine Variante des freistehenden Schachtofens mit einer unter dem Ofenschacht liegenden Schlackengrube, in der sich die abfließende Schlacke sammelt und zu einem sogenannten Schlackenklotz erstarrt. Im Gegensatz zu anderen derartigen Rennöfen ist beim Ofentyp „Glienick“ eine mehrfache Verwedung möglich, denn zur Ofenkonstruktion gehört hier eine kleine Arbeitsgrube, von der aus die mit großen Steinen eingefasste Schlackengrube geöffnet werden kann, um die Eisenluppe zu entnehmen und die Schlacke auszuräumen. Die Wiederverwendbarkeit der Rennöfen vom Typ „Glienick“ konnte mit den Versuchen zweifelsfrei bestätigt werden.

In Vorbereitung des diesjährigen Ofenganges (Versuch 5.2) wurden am bereits bestehenden Rennofen die üblichen Reparaturarbeiten durchgeführt. Diese umfassten neben der Ausbesserung der Ofenwände auch eine Erneuerung der beiden schnauzenartig in den Ofenschacht hineinragenden Düsen (Abb. 3), über die dem Rennofen mittels Blasebälgen die erforderliche Verbrennungsluft zugeführt wird (Abb. 5). Die Schlackengrube wurde in bewährter Weise mit einer Füllung aus Roggenstroh versehen und danach mit Lehm und Steinen verschlossen.

Der Betrieb des Rennofens fand wie schon in den vergangenen Jahren, anlässlich des traditionellen Handwerkerfestes statt und begann bereits in den frühen Morgenstunden. Über die Gichtöffnung wurde auf die Strohfüllung der Schlackengrube eine bis über die Düsen reichende Lage Holzkohle aufgebracht, auf die anschließend einige glühende Holzkohlestücke kamen. Nachdem die beiden einander gegenüberliegenden Blasebälge ihren synchronen Betrieb aufgenommen hatten und die Glut im Rennofen angefacht war, wurde der Ofenschacht bis zur Gicht hinauf mit Holzkohle befüllt. Es schloss sich ein einstündiges Vorheizen an, bei dem immer wieder Holzkohle nachgefüllt wurde.

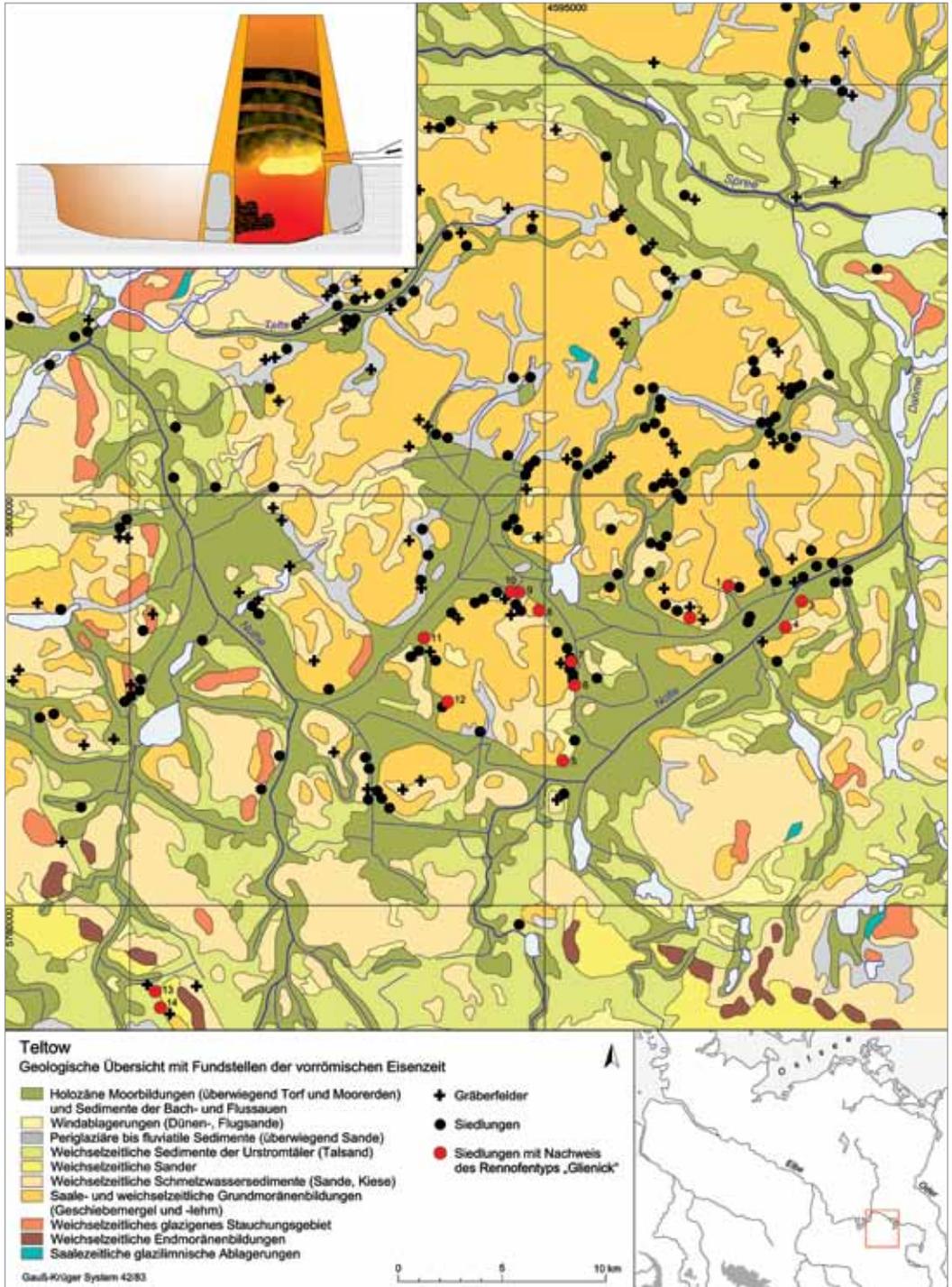


Abb. 1: Nachweise des Rennofentyps „Glienicke“ im Teltow südlich von Berlin.

Grafik: M. Brumlich; Kartengrundlage: GÜK 300.

Evidence for the bloomery furnace type „Glienicke“ in the Teltow-region south of Berlin.

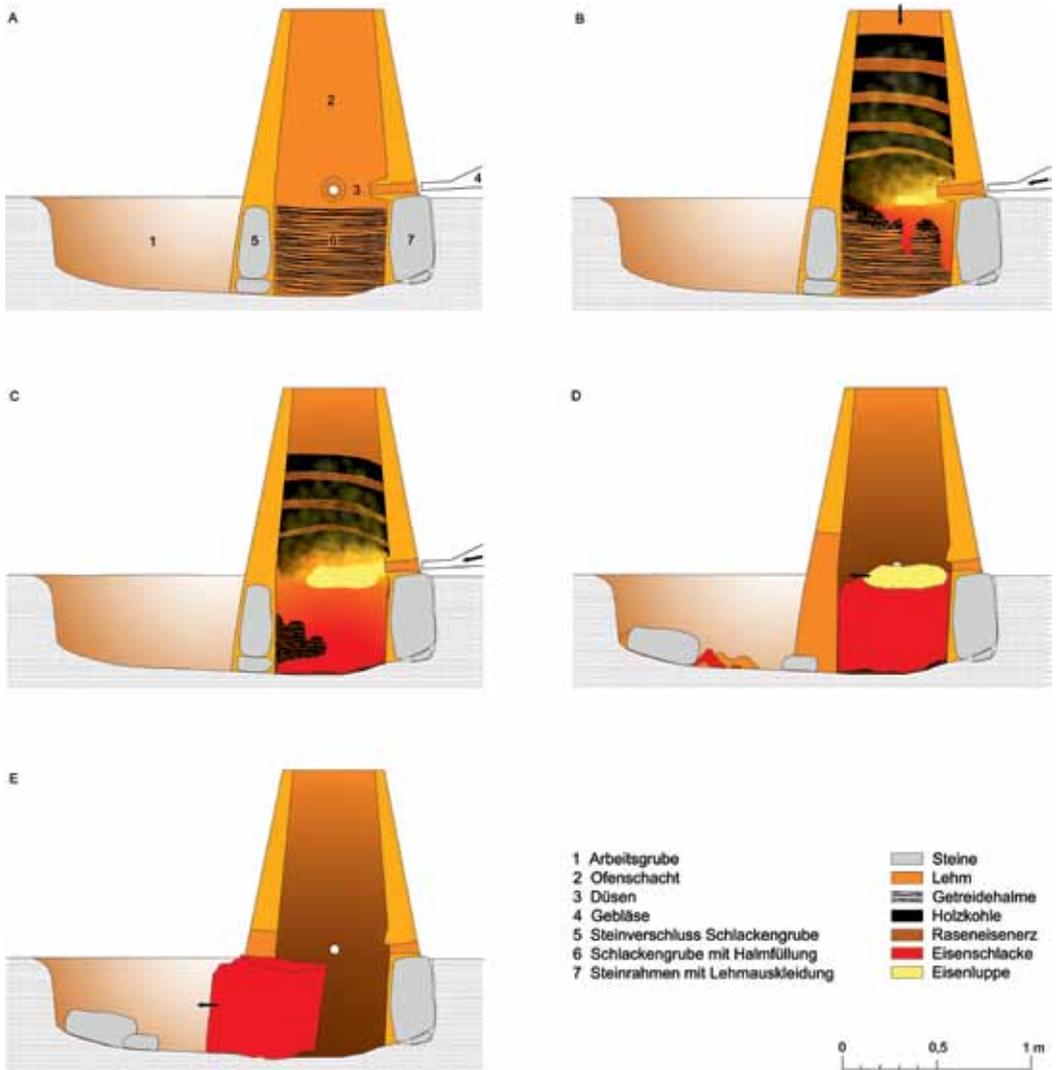


Abb. 2: Schematische Rekonstruktion von Aufbau und Funktionsweise des Ofentyps „Glienic“ nach den archäologischen Befunden und den Ergebnissen der Rennofenversuche. Längsschnitt eines Rennofens mit drei Düsen. Grafik: M. Brumlich, E. Jagemann.

Schematic reconstruction of the bloomery furnace type "Glienic" after the results of archaeological excavations and iron smelting experiments. Longitudinal section of a bloomery furnace with three tuyeres.

Als die Temperatur des Rennofens ausreichend erschien, begann die Beschickung mit dem vorbereiteten Raseneisenerz, das eine Körnung von 1 bis 5 mm aufwies. Der Rennofen ist nun im Verhältnis von 1 : 1,2 immer abwechselnd schichtweise mit 2 kg Raseneisenerz und 2,4 kg Buchenholzkohle beschickt worden (Abb. 6). Nach nicht ganz zehn Stunden und einem ungestörten Verlauf des Verhüttungsprozesses waren insgesamt 57,1 kg Raseneisenerz eingesetzt. Es wurde nun noch mit einigen Kilogramm Holzkohle nachgeheizt und der Rennofen innerhalb von etwas über zweieinhalb Stunden heruntergefahren. Während des insgesamt 13,5 Stunden langen Rennofenbetriebes sind alles in allem 104,4 kg Holzkohle verbraucht worden (Abb. 7).

Nach dem Herunterbrennen der Ofencharge wurde die Wand der Schlackengrube von der Arbeitsgrube aus aufgebrochen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der früheren Versuche zeigte sich dabei, dass von der Strohfüllung nur noch

Abb. 3: Die linke Düse des Versuchsrennofens vor dem Verhüttungsprozess.
Foto: M. Brumlich.
The left tuyere of the bloomery furnace before the iron smelting process.



Abb. 4: Die vollständig aufgelöste Düse nach dem Verhüttungsprozess.
Foto: M. Brumlich.
The completely dissolved tuyere after the iron smelting process.



wenige völlig verkohlte Reste vorhanden waren. In der Schlackengrube steckte ein zusammenhängender Schlackenklotz, der die Grube weitgehend ausfüllte und fast bis auf die Grubensohle hinabreichte.

Die dünnflüssige Schlacke war zwischen die Halme des dicht geschichteten Strohs geflossen und hatte diese eingeschlossen. Die in der erstarrenden Schlacke entstehenden Halmabdrücke (Abb. 8) sind auch schon bei den vorhergehenden Versuchen zu beobachten gewesen (Brumlich 2018, Abb. 354, 355; Brumlich, Lychatz 2018, 35, Abb. 6) und sind in gleicher Weise von den archäologischen Funden bekannt (Brumlich 2018, 286–290, Abb. 274–279). Letzteres ist schließlich auch der Grund für die Kenntnis davon, dass die Schlackenegruben der Rennöfen vom Typ „Glienicke“ mit einer solchen Halmfüllung ausgestattet waren. Dass es sich dabei um Getreidehalme gehandelt hat, darf nach archäobotanischen Analysen der verkohlten Makroreste aus den Schlackenegruben von drei der Rennöfen, die bei den Ausgrabungen an der Siedlung Glienicke 14 untersucht wurden, als erwiesen gelten (Brumlich 2018, 220, Tab. 11).

Als ein Novum bei den Versuchen war festzustellen, dass die niedrigviskose Schlacke stellenweise bis auf die Grubensohle herabgeflossen war und sich dort horizontal verteilt hatte. Infolgedessen erfolgte dort die Bildung einer wenige Zentimeter starken Platte aus kompakter Schlacke. Entsprechende Beobachtungen sind ebenfalls bei den in Glienicke ausgegrabenen Rennöfen gemacht worden (Brumlich 2018, 225–228, 232, 243, 272, Abb. 199, 219).

Im oberen Teil des Schlackenklotzes war die Eisenlupe eingebettet. Zu ihrer Bergung musste die Schlacke entfernt werden, was sich nicht einfach gestaltete, da der Schlackenklotz unterhalb der Düsen fest mit den Wänden der Schlackenegrube verbunden war. So verblieb nur, ihn zu zertrümmern und so die Lupe freizulegen. Die enorme Hitze, die dabei von dem glühenden Eisen, der Schlacke und dem Rennofen selbst ausgeht, macht diese Arbeit nicht gerade einfacher. Die eisenzeitlichen Metallurgen hatten es da wahrscheinlich etwas besser, denn sie waren mit ihrer umfassenden Erfahrung und ihren Kenntnissen in der Lage, den Prozess so zu führen, dass sich Schlacke und Eisen nahezu vollständig von-



einander trennten. Die bei den Grabungen gefundenen Schlackenklötze zeigen oftmals eine ebene Oberfläche mit einem flachen Abdruck der Luppe, die offenbar nur noch abgehoben werden musste. An einem der Schlackenklötze aus der Siedlung Frankenfelde 9 (Lkr. Teltow-Fläming; Abb. 1,14) ist zudem eine längliche Vertiefung zu erkennen, die darauf hindeutet, dass dies teils mit einem langen Meißel oder einem ähnlichen Werkzeug geschah. Der Umstand, dass dabei in der Schlacke eine Spur zurückblieb, zeigt zugleich, dass sich die Oberfläche des Schlackenklötzes noch in einem viskosen Zustand befunden haben muss, die Bergung der Luppe also wie bei den Versuchen unmittelbar im Anschluss an den Verhüttungsprozess erfolgte und nicht erst nach dem Abkühlen des Rennofens.

Abb. 5: Betrieb der beiden Blasebälge am Versuchsrennofen.

Foto: M. Brumlich.

Operating the bellows at the bloomery furnace.

Abb. 6: Charge aus geröstetem Raseneisenerz und Holzkohle im Ofenschacht.

Foto: M. Brumlich.

Charge of roasted bog iron ore and charcoal inside the furnace shaft.

Beim Zertrümmern des festsitzenden Schlackenklötzes, das durch die seitliche Öffnung der Schlackengrube und von oben her durch die Ofengicht bewerkstelligt wurde, kam unter anderem ein langes und etwa unterarmstarkes Rundholz zum Einsatz (Abb. 9). Nachdem die Schlacke stückweise weggebrochen und aus dem Rennofen entfernt worden war, stellte sich heraus, dass die Eisenluppe ebenfalls von einer Ofenwand zur anderen reichte und so wie die Schlacke gewaltsam abgetrennt werden musste. Es gelang schließlich, die Luppe in einem Stück herauszulösen. Bei der anschließenden Bearbeitung war festzustellen, dass sie leider nicht die Kompaktheit der Luppe des vorhergehenden Versuches besaß (Brumlich, Lychatz 2018, 37, Abb. 3, 4). Infolgedessen zerbrach sie in drei große Stücke sowie etliche kleine Fragmente. Insgesamt handelt es sich um rund 14,1 kg

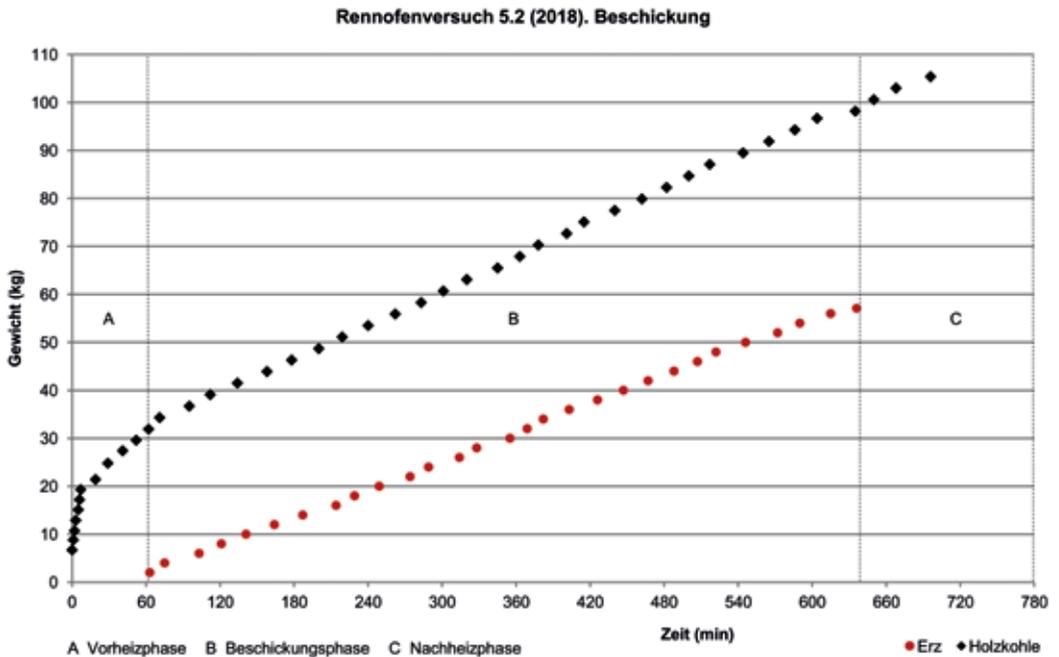


Abb. 7: Diagramm zur Beschickung des Rennofens mit Raseneisenerz und Holzkohle.
Grafik: M. Brumlich.
Charging the bloomery furnace: Weight of bog iron ore (red dots) and charcoal (black rhombs) as a function of time.

Eisenlupe (Abb. 10). Die Höhe des Ausbringens kann im Verhältnis zum Gewicht des eingesetzten Erzes mit 24,7 % angegeben werden.

Nachdem bei Versuch 4.1 (2015) noch 38 kg und bei Versuch 5.1 (2017) dann schon 48 kg Raseneisenerz eingesetzt worden sind, wurde die Menge des chargierten Erzes diesmal auf 57,1 kg gesteigert. Zwar wurde die maximale Aufnahmekapazität des Versuchsrennofens damit noch nicht erreicht, doch lässt sich diese nach der Größe des Schlackenklotzes und des verbleibenden Raumes in der Schlackengrube auf etwa 70 kg Erz schätzen. Unter der Voraussetzung eines vergleichbaren Ausbringens würde das Produktionsvolumen des Versuchsrennofens damit bei rund 17 kg Lupe liegen.

Des Weiteren ist durch die Veränderung des Beschickungsverhältnisses von Raseneisenerz zu Holzkohle von 1 : 1,5 auf nur noch 1 : 1,2 der Verbrauch an Holzkohle gesenkt worden. Dabei ist unter Bezugnahme auf die Versuche 5.1 und 5.2 festzustellen, dass bei einer annähernd gleichen Verbrennungsleistung eine deutlich größere Menge Erz aufgeschmolzen wurde. Diese Reduzierung des Brennstoffverbrauches ist als eine Verbesserung hinsichtlich der Effizienz des Verfahrens anzusehen. Bei Rennofenversuchen, die von anderer Seite durchgeführt werden, kommen in der Regel vergleichbare Beschickungsverhältnisse von 1 : 1 bis 1 : 1,5 zur Anwendung (Lychatz 2013). Die Einstellung des optimalen Verhältnisses ist von verschiedenen weiteren Parametern abhängig und muss bei den Experimenten schrittweise ermittelt werden.



*Abb. 8: Verhüttungsschlacke mit Abdrücken von der Strohfüllung der Schlackengrube.
Foto: M. Brumlich.
Iron smelting slag with impressions of the straw filling of the slag pit.*

*Abb. 9: Herauslösen des Schlackenklötzes mittels eines langen Rundholzes.
Foto: K. von Fournier.
Removal of the slag block by use of a long roundwood.*



Nach dem Abschluss des Versuches konnte bei der Besichtigung und Dokumentation des Rennofens noch eine interessante Beobachtung gemacht werden: Von den beiden Düsenchnauzen, die zuvor 11 cm in den Ofenschacht hineingeragt hatten (Abb. 3), war im Grunde nichts mehr vorhanden. Während an der rechten Düse nur noch eine schwache Aufwölbung zu erkennen war, schloss die linke Düsenöffnung nun unmittelbar mit der Ofenwand ab (Abb. 4).

Die Düsen werden im Verlauf des Verhüttungsprozesses zum einen von der FeO-haltigen Primärschlacke aufgelöst, zum anderen brechen durch die thermische und mechanische Beanspruchung hin und wieder auch Stücke von ihnen ab. Letzteres kann bei einer unzureichenden Düsenkonstruktion Ausmaße annehmen, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Prozesses oder im Extremfall sogar zu seinem Scheitern führen (Brumlich, Lychatz 2017, 57–61).

Die Feststellung, dass sich die Düsen weitgehend oder sogar vollständig auflösen, ist insofern von Bedeutung, als sich derartige in den Ofenschacht hinein verlängerte Düsen im archäologischen Material bisher nicht mit letzter Sicherheit nachweisen ließen. Die bei den Ausgrabungen bei Glienick gefundenen Düsenreste zeigen – ebenso wie die rechte Düse des Versuchsrennofens – allenfalls geringe Aufwölbungen der Ofenwand, die ohne die Ergebnisse der Versuche nur schwer zu interpretieren wären (Brumlich 2018, 306).

Durch die Verlängerung der Düsen wird die Bildung einer kompakten und relativ homogenen Luppe in der Mitte des Rennofens gefördert (Lychatz 2013). Die Abdrücke auf den Schlackenklötzen aus der Siedlung bei Glienick belegen, dass dort entsprechende Luppen erzeugt worden sein müssen. Nach diesen Feststellungen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass die eisenzeitlichen Rennöfen vom Typ „Glienick“ ehemals mit verlängerten Düsen ausgestattet waren.



*Abb. 10: Eines der großen
Teilstücke der erzeugten
Eisenluppe.
Foto: M. Brumlich.
One of the large pieces of
the produced iron bloom.*

Ob die Versuche in den kommenden Jahren fortgesetzt werden können, hängt maßgeblich davon ab, ob neues Raseneisenerz beschafft werden kann, denn die Vorräte sind inzwischen aufgebraucht. Ein gut verhüttbares Raseneisenerz in ausreichender Menge zu finden, stellt ein auch bei anderen Rennofenteams bekanntes und nicht zu unterschätzendes Problem dar. Entsprechende Hinweise werden daher dankend entgegengenommen!

LITERATUR

BRUMLICH, M. 2018: Die Siedlung Glienick 14. Eine Studie zur eisenzeitlichen Besiedlung des Teltows unter besonderer Berücksichtigung der Eisenverhüttung und -verarbeitung. In: M. Brumlich, Frühe Eisenverhüttung bei Glienick. Siedlungs- und wirtschaftsarchäologische Forschungen zur vorrömischen Eisen- und römischen Kaiserzeit in Brandenburg. Teil I. Berliner Archäologische Forschungen 17, Rahden/Westf. 2018, 15–544.

BRUMLICH, M., LYCHATZ, B. 2015: Eine lup(p)enreine Sache. Neue Experimente zur Eisenverhüttung im Rennofen Typ „Glienick“. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2014, Darmstadt 2015, 71–73.

BRUMLICH, M., LYCHATZ, B. 2016: Experimentelle Verhüttung von Raseneisenerz mit einem eisenzeitlichen Rennofentyp des Teltow im Museumsdorf Düppel. Düppel Journal 2015, Berlin 2016, 58–62.

BRUMLICH, M., LYCHATZ, B. 2017: Trial and Error – ein neuer Rennofenversuch im Museumsdorf Düppel. Düppel Journal 2016, Berlin 2017, 56–61.

BRUMLICH, M., LYCHATZ, B. 2018: Ausbringen einer Eisenluppe mit dem Rennofentyp „Glienick“ im Museumsdorf Düppel. Düppel Journal 2017, Berlin 2018, 33–39.

LYCHATZ, B. 2013: Die Metallurgie des Rennverfahrens. Freiburger Forschungshefte D 245, Freiberg 2013.

LYCHATZ, B. 2018: Archäometallurgische Analysen an Erzen, Schlacken und Luppen aus eisenzeitlichen Siedlungen des Teltows. In: M. Brumlich, Frühe Eisenverhüttung bei Glienick. Siedlungs- und wirtschaftsarchäologische Forschungen zur vorrömischen Eisen- und römischen Kaiserzeit in Brandenburg. Teil II. Berliner Archäologische Forschungen 17, Rahden/Westf., 2018, 619–628.

AUTORENANSCHRIFT

Freie Universität Berlin
 Institut für Prähistorische Archäologie
 Dr. Markolf Brumlich
 Fabeckstr. 23–25
 14195 Berlin
 markolf.brumlich@t-online.de