

Lukas J. Kerbler und Julia Klammer

Archäometallurgische Untersuchungen zur frühgeschichtlichen Eisengewinnung im Hausruckwald

Forschungsgeschichte

Im Hausruckwald südlich von Eberschwang (OÖ) entdeckte der passionierte Fossiliensammler August HÖTZINGER unweit einer Fundstelle von versteinertem Holz drei Schlackenhalden. Nach Rücksprache mit Sammlerkollegen konnten die daraus geborgenen Schlacken als Eisenschlacken angesprochen werden. Ab 2018 fanden mehrere Begehungen der Fundstellen mit Fachwissenschaftlern verschiedener Disziplinen (u.a. Archäologie, Mineralogie und Montangeschichte) statt. Dabei wurde die historische Bedeutung der Entdeckung erkannt und die Schlacken einer frühen Eisengewinnung zugerechnet. Um abzuklären, in welchen Zeitraum die Schlackenfundstellen datieren, wurden aus zwei der Schlackenhalden Holzkohlenproben geborgen und im Auftrag der Gesellschaft für Archäologie in OÖ vom Labor „Beta Analytic Inc“ in Miami mittels Radiokarbon-Methode analysiert¹. Die Untersuchungsergebnisse lassen zeitlich auf das 5. bis 6. Jh. n. Chr. schließen.² Damit befindet sich die Eisengewinnung im Hausruckwald in der Übergangszeit von der Spätantike zum Frühmittelalter, einer Zeit der kulturellen, ethnischen und politischen Umwälzungen, aus welcher im heutigen Österreich bislang noch keine Eisengewinnungstätigkeiten bekannt waren. Um in weiterer Folge auch erste Aussagen über die dort stattgefundenen Arbeitsprozesse tätigen zu können, wurde 2022 Lukas Kerbler von der Firma „ARMET Archäologie & Archäometallurgie e.U.“ beauftragt³, einige der bisher aufgesammelten Schlacken archäometallurgisch zu untersuchen. Auch konnte die Landschaftsarchäologin Julia Klammer für räumliche Analysen gewonnen werden, durch welche in der Umgebung der Schlackenhalden weitere einschlägige Befundstrukturen ausgemacht werden konnten.

¹ Für die Zurverfügungstellung der Analysedaten sei Stefan Traxler herzlich gedankt.

² Probe Beta 566023: 505–610 cal AD (65,6 %), 428–498 cal AD (29,8 %); Probe Beta 566024: 422–574 cal AD (95,4 %).

³ Die archäometallurgischen Untersuchungen wurden dankenswerterweise durch die Marktgemeinde Eberschwang subventioniert.

Topografie

Der Hausruckwald befindet sich im westlichen oberösterreichischen Alpenvorland (Hausruckviertel), nördlich der Salzkammergutseen und östlich anschließend an den Kobernaufserwald, in etwa zwischen den Orten Ried im Innkreis im Nordwesten und Vöcklabruck im Südosten.

Geologie

Die wesentlichen Ablagerungen des Hausruckmassivs stammen aus dem Miozän.⁴ Über einer Schicht aus Schlier – Ablagerungen bedingt durch den Rückzug eines seichten Meeres – bildeten sich Torf- und spätere Waldmoore aus. Wiederkehrende Überschwemmungen führten zur Ansammlung siliziklastischer Sedimente, die sich abwechselnd mit den Torfschichten regelmäßig ablagerten.⁵ In späterer Folge kam es im Zuge der Ur-Inn-Entwicklung erneut zur Einbringung von Schotter. Dieser überlagerte die heutigen Kohleflöze mit einer Mächtigkeit von bis zu 200 m. Eingeschlossen unter einer Schutzschicht vollzog sich durch Druck und Erwärmung ein „Inkohlungsprozess“.⁶ Dieser führte zur Umwandlung von Torf in Braunkohle wie auch von anderem organischem Material in fossile Objekte.⁷ Heute zieht sich das ehemals förderwürdige Band aus Braunkohle parallel zur Schlierschicht relativ gleichmäßig zwischen 580 und 610 Höhenmeter⁸ (vereinzelt auch 640 m) durch den Hausruckwald und beißt jeweils, wo der Hang die entsprechende Höhe erreicht, aus (Abb. 1). Die Flöze liegen somit über der Talsohle und können dadurch sowohl im Tage- wie auch im Untertagebau (ohne aufwendigem Schachtbau) gewonnen werden.⁹ Der heute bestehende west-ost-streifende Kamm des Hausruckwaldes blieb infolge intensiver Talerosion¹⁰ zurück, welche formgebend für seine charakteristisch zerlappte Kontur ist¹¹.

Kleinregionale Einbettung

Die Schlackenfundstellen befinden sich nördlich von Ampflwang, in der Gemeinde Eberschwang (KG Wappeltsham). Lokalisiert am Nordwesthang des

4 STARKE 1992, 23.

5 POHL 2015, 4.

6 STARKE 1992, 23.

7 Siehe dazu GROISS 1989, 173f. und WEBER 1997, 242.

8 POHL 2015, 5–6.

9 Siehe dazu WEBER 1997, 242.

10 Erosion der Talhänge und -ursprünge, die auf weiche leicht abtragbare Basisschichten zurückzuführen ist. Siehe STARKE 1992, 24.

11 STARKE 1992, 24.

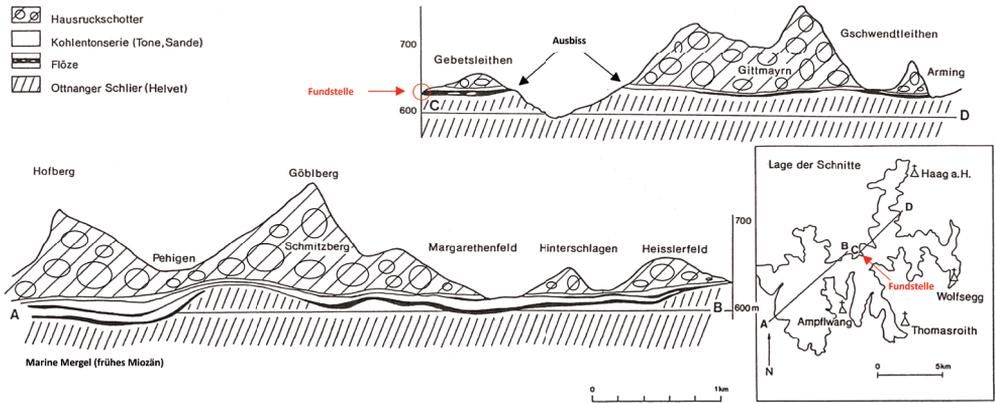


Abb. 1: Schematisches geologisches Idealprofil durch die Braunkohlevorkommen des Hausrucks. Bearbeitet nach POHL 1968, Tafel VII.

Hausruckwaldes, liegen sie am oberen Ende des Prinzach Grabens¹² (Abb. 2). Dieser ist durch mehrere austretende kleine Wasserläufe und im Kontext dazu stehende sichtbare Oberflächenerosion geprägt. Situirt auf der Höhe der Ausbisskante des Braunkohle- und Schlierbandes (Braunkohlegrenze, Abb. 2), begünstigt die Tonschicht, dass höher versickerte Oberflächenwässer an ihr abgelenkt werden. Aufgrund dieser ableitenden Wirkung kommt es verstärkt zur Freilegung der Flöze wie auch der Bildung kleiner Gerinne.¹³ Wasser¹⁴, Braunkohle und Ton sind alles Rohstoffe, die als Bestandteile mitunter essentiell für die Errichtung und Betreibung von Schmelzöfen waren¹⁵ und durch ihr lokales Vorkommen somit auch genutzt werden konnten. Auch plattiges Eisenerz (siehe Abschnitt 3. Fundmaterial) tritt an der Schlierschicht zutage. Dabei handelt es sich um feinkörniges, zementiertes Sediment, das als gelöste Stoffe mittels der durch den überdeckenden Schotter sickern den Oberflächenwässer bis an die Schlierschicht transportiert wurde und sich dort ausgeschieden hat. Die Qualität dieses plattigen Erzes

12 Name laut „Übersichts-Karte über die in Oberösterreich bestehende gewerkschaeflichen Grubenfeldmaßen am Hausruck = Braunkohlen Revier und der Fortsetzung dieses Gebirgzzuges weiter in den Kobernauser=Wald, mit Berücksichtigung der Communicationen insbesondere der bestehenden Bergwerks-Eisenbahnen und der projectierten Staatsbahn-Trace nach Salzburg. Zusammengestellt nach den Lehensmappen und das Gebirge aus der Generalstabkarte eingezeichnet im Februar 1856, Franz Rieger“. OÖ. Landesarchiv, Bergbauarchiv Ampflwang.

13 Vgl. dazu GROISS 1989, 174.

14 Vgl. dazu WALLNER 2013, 98–100.

15 Der analytische Nachweis der Verwendung dieser lokalen Rohstoffe wurde noch nicht erbracht. Entsprechende Untersuchungen sind bis dato noch nicht durchgeführt worden.

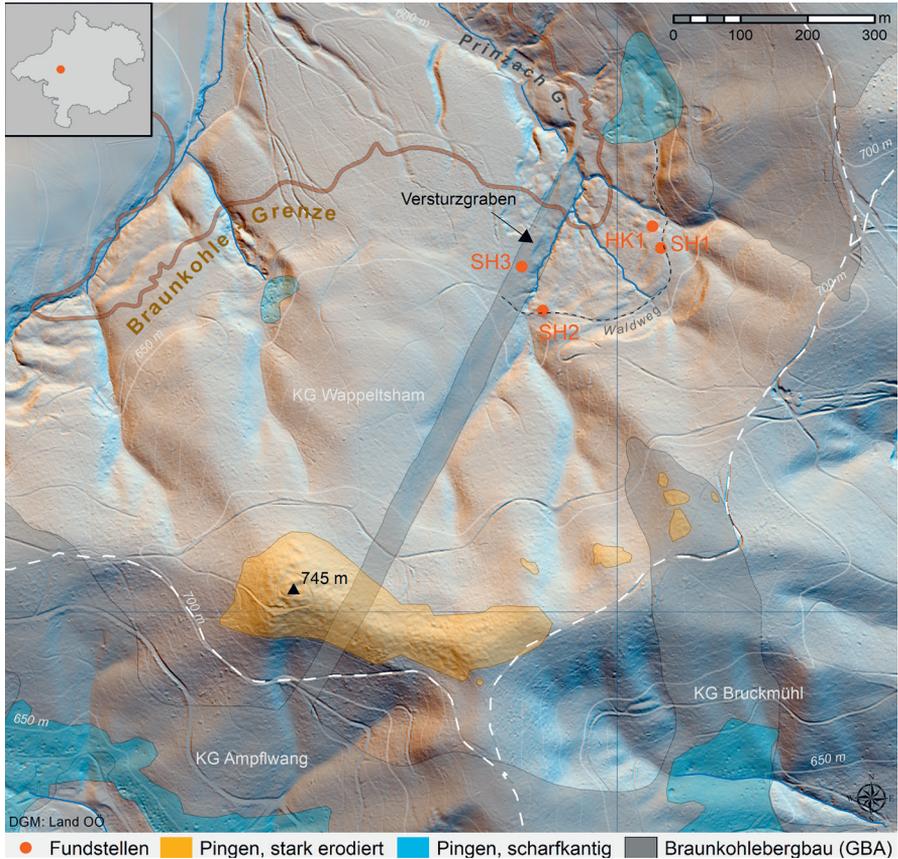


Abb. 2: Kleinregionale Einbettung und Lage der Fundstellen (rot).

spricht laut bisheriger Untersuchungen (siehe Abschnitt 5. Chemische Analysen) nicht für seine zeitgenössische Verwendung als Rohstoff zur Metallgewinnung, doch verweist sein Vorkommen – als Produkt sekundärer Ablagerung – zumindest auch auf höhergelegene Depots. So finden sich im direkten Nahegebiet, entlang des südlich gelegenen Höhenrückens, im Deckenschotter des Hausruckwaldes, eisenreiche Konkretionen, die sich anhand ihrer Zusammensetzung für die Gewinnung von Schmiedeeisen eignen würden (siehe Abschnitt 3. Fundmaterial und 5. Chemische Analysen).

Dass es vor Ort tatsächlich zu einer Ausbeutung des Erzes kam, kann nicht nur angesichts des oberflächlich anstehenden und damit lokal vorhandenen Rohmaterials vermutet, sondern auch anhand zahlreicher, aneinander gereihter

Gruben, ihrerseits Relikte ehemaliger Versturztrichter, belegt werden (orange Kartierungen, Abb. 2).¹⁶ Diese sogenannten Pingen unterscheiden sich ganz eindeutig von den durch den neuzeitlichen Braunkohlebergbau beobachtbaren Reliefstrukturen (blaue Kartierungen Abb. 2). Zum einen verweist der Grad ihrer Erosion im relativen Vergleich mit den wesentlich jüngeren Braunkohlepingen auf ein entsprechend höheres Alter.¹⁷ Zum anderen spricht ihre Lage, situiert auf dem Höhenrücken, für den Zusammenhang mit Rohmaterial direkt aus dem Hausruckschotter. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass Versturztrichter, die dem Braunkohlebergbau geschuldet sind, sich ausschließlich in unmittelbarer vertikaler Nähe der Abbaubereiche ausprägen können. Denn sollte es im Fall einer höheren Überlagerung zum Verstürzen eines Hohlraumes kommen, bräche das nachkommende ausfüllende Material so großflächig ein, dass sich im Relief keine Spuren dieses Vorgangs augenscheinlich abzeichnen könnten. Aufgrund dieses Prinzips treten Braunkohlepingen nur dort oberflächlich in Erscheinung, wo der zugehörige Flöz maximal 30 Meter¹⁸ unter der Erdoberfläche liegt. Entsprechend der Lage der Kohleschicht sind diese sekundären Gruben daher überwiegend in der mittleren Höhe der Hänge des Hausruckschwals ausgeformt (blaue Kartierungen, Abb. 2). Die stärker von Erosion geprägten Versturztrichter auf dem Höhenrücken können somit keinesfalls mit den ca. 100 Meter darunter befindlichen Abbauvorgängen in Verbindung gebracht werden. Im Gelände sind die Pingen teilweise als vereinzelte Vertiefungen, teilweise als kleine Grubengruppen zu erkennen (orange Kartierungen, Abb. 2). Auch ein großflächiges, zusammenhängendes und gut sichtbares Pingenfeld erstreckt sich über einen nahen sanften Höhenrücken. Diese Anordnung der höhergelegenen Rohstofflagerstätten und tiefergelegenen Verarbeitungsbereiche ist durchaus vorteilhaft, da das schwere Eisenerz nicht gegen die Schwerkraft nach oben transportiert werden musste, sondern mit ihr nach unten gefördert werden konnte.¹⁹ Dies entspricht einem Prinzip, das auch bei jüngeren Bergbauanlagen wie auch beim späteren Braunkohlebergbau logischerweise Berücksichtigung fand. Das genannte Pingenfeld erstreckt sich zu allen Seiten einer 745 m hoch gelegenen Erhebung, die heute als Urhamer²⁰ bekannt ist. Laut dem Franziszeischen Kataster, einem Planwerk aus dem beginnenden 19. Jahrhundert, beschreibt der Flurname „U(h)rhammer“ allerdings nur großflächig den Südhang der angren-

16 Entdeckt im Zuge erster geländemodellbasierter Prospektionsmaßnahmen, Julia Klammer, Juni 2022.

17 Vgl. dazu auch WALLNER 2013, 89–92.

18 Freundliche Mitteilung von Hannes Koch/Bergbauarchiv Ampflwang, 28.02.2023, der im Zuge unterschiedlicher Bergbauschadensfälle von Marscheidern und Geologen diese Information erhielt.

19 Vgl. dazu auch WALLNER 2013, 103–105.

20 Zur Herleitung des Flurnamens Urhamer ist aktuell noch nichts bekannt. Ob damit auf eine frühe Bergbauaktivität, vielleicht sogar im Zusammenhang mit Schmiedevorgängen, geschlossen werden kann, muss vorerst unbeantwortet bleiben.



Abb. 3: Innen verschlacktes Schachtfragment aus Schlackenhügel 2.

zenden Gemeinde Ampflwang. Die Anhöhe des heutigen Urhamers wird jedoch nicht entlang des Grates, also quer in Längsrichtung durch das Pingenfeld, auf die benachbarte KGs aufgeteilt – ein sehr häufig zu beobachtendes Muster bei Verwaltungsgrenzen –, sondern gehört zur Gänze der nördlich gelegenen Katastralgemeinde Wappeltsham an (Abb. 2). Auf den zugehörigen Kartenblättern des Franziszeischen Katasterplans der KG Wappeltsham wiederum ist jedoch auf der gefragten Anhöhe der Flurname Anzberg verzeichnet. Ähnliche lokale Bezeichnungen finden sich auch im Josephinischen Lagebuch von 1788, einer probaten und wichtigen Quelle hinsichtlich historischer Riede, wie beispielsweise Ätzberg, -Holz, Azberghölzl und -holz²¹, allesamt Flurnamen, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf das dort anstehende Material, das Erz, verweisen. Auch wenn in modernen Kartierungen diese Eisenerzlagerstätte keinen Eintrag mehr findet – vermutlich, weil für heutige Maßstäbe das Vorkommen wohl zu unbedeutend ist – so deutet zumindest der ehemalige Flurname auf das einstige Wissen um das Abbaugbiet im Hausruckwald hin.

21 Recherche und freundliche Mitteilung von Josef Weichenberger, Linz, 12.03.2023.

Lage der Fundstellen

Bislang konnten im Hausruckwald drei Schlackenfundstellen beobachtet werden (SH 1-3, Abb. 2). Bei den Schlackenhalde handelt es sich um die Überreste von in unmittelbarer Nähe stattgefundenen metallurgischen Arbeitsprozessen, welche zumindest in zwei Fällen hügelartig aufgeschüttet wurden. Schlackenhügel 3 befindet sich im Nahebereich einer verstürzten ONO-WSW verlaufenden Stollenanlage des neuzeitlichen Braunkohlebergbaus (schwarzer Pfeil "Versturzgraben" und Kartierung "SH3", Abb. 2) bzw. westlich eines parallel dazu verlaufenden von einem Wasserlauf eingeschnittenen Grabens. Etwas hangaufwärts unmittelbar östlich dieses Grabens ist Schlackenhügel 2 (SH2, Abb. 2) situiert, welcher durch einen Forstweg inmitten durchschnitten ist. Diesen Waldweg nach Osten und im weiteren Verlauf nach Norden folgend fand sich die Schlackenfundstelle 1 (SH1, Abb. 2), welche ebenso durch den Forstweg gestört sein dürfte, aber seit ihrer Auffindung im Sommer 2019 wegen des Bewuchses nicht mehr einwandfrei relokalisierbar ist. Die Schlackenhügel 2 und 3 sind von annähernd ovaler Grundrissform. Der sich von der derzeitigen Humusoberkante im Zentrum ca. 38 cm erhebbende Schlackenhügel 3 ist auf einer Fläche von ca. 13 x 8 Metern fassbar. Schlackenhügel 2 ist von einem annähernd Ost-West verlaufenden vier Meter breiten Forstweg durchschnitten und misst ca. 20 x 17 m. Seine ursprüngliche Höhe dürfte bei der Anlage des Forstweges verändert worden sein. Der südliche Teil des Hügels erhebt sich an der höchsten Stelle ca. 70 cm über das derzeitige Niveau der Humusoberkante und der nördliche Teil ca. 30 cm. Einige Meter nördlich von Schlackenfundstelle 1 konnte eine Ansammlung von Holzkohle gefunden werden (HK1, Abb. 2). Bei dieser könnte es sich um einen ehemaligen Meilerstandort oder ein Holzkohlendepot handeln.

Fundmaterial

Im Rahmen der Begehungen des Fundareals im Hausruckwald wurden immer wieder Fundobjekte aufgesammelt. Dabei handelt es sich um Schlackenfunde und Holzkohlenstücke von den beschriebenen Schlackenhalde sowie um Eisenerzproben aus dem Bachgraben bei den Schlackenhalde, aus dem Areal der Pingenfelder am Urhamer sowie von Referenzfundstellen in der näheren Umgebung. Im Vorfeld der archäometallurgischen Laboruntersuchungen wurden die Fundgebilde überblicksmäßig gesichtet.

Unter den Eisenerzen können plattige Erze von Erzgeoden bzw. -nieren unterschieden werden. Die plattigen Eisenerze weisen Plattenstärken von 0,5 bis 4 cm auf und können in nahen Schottergruben als Lagen innerhalb der

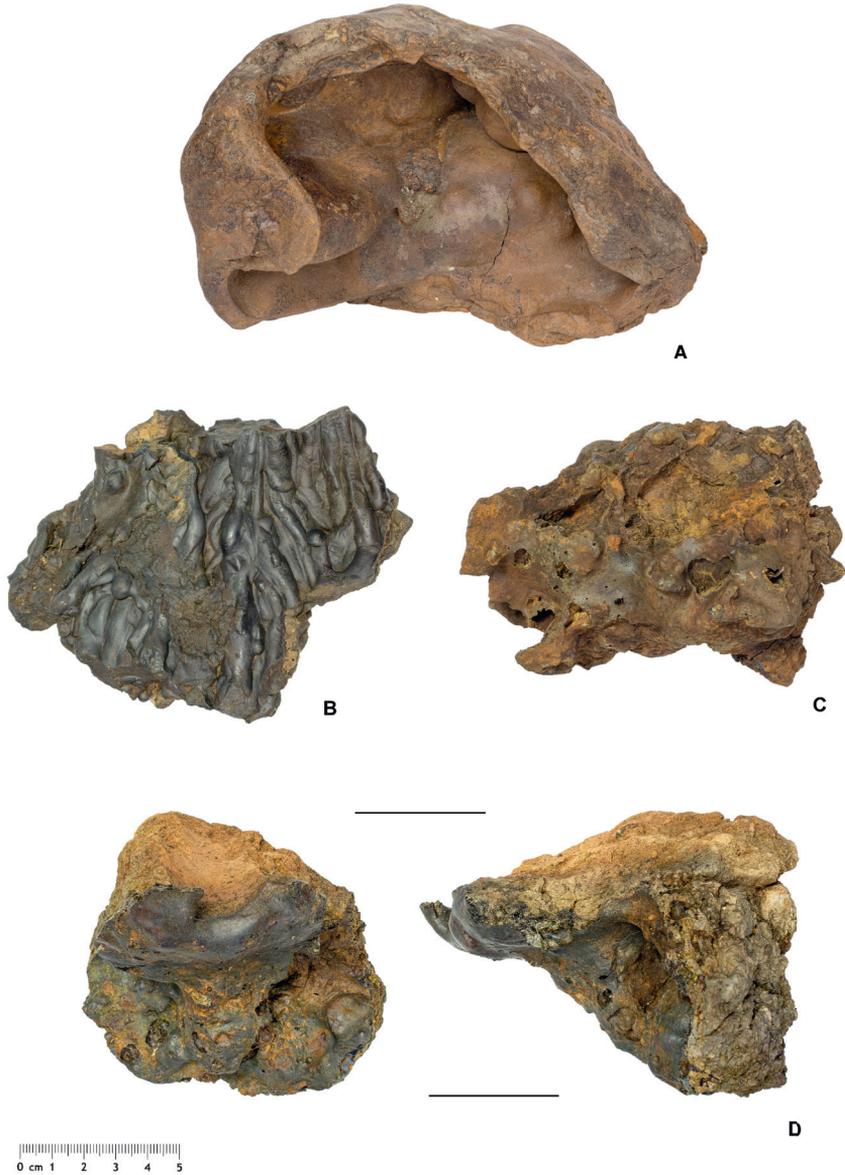


Abb. 4: A) Limonit-Geode aus dem Bachgraben in der Nähe der Schlackenhügel 2 und 3; B) Fließschlacke aus Schlackenhügel 3; C) Ofenschlacke aus Schlackenhügel 2; D) Fragment einer Düse mit anhaftender Ofenwand aus Schlackenhügel 3, links Ansicht Düsen Spitze, rechts Seitenansicht.

Schotterablagerungen beobachtet werden (Freundliche Mitteilung von August Hötzing). Sie bestehen aus Eisenhydroxid, sind stark sandhältig und können zum Teil auch gerundete Schottersteinchen enthalten. Auch kommen im Fundgebiet eisenreiche Konkretionen, meist in Form innen hohler Geoden oder seltener in Form von massiven Nieren vor. Aus dem Bachgraben im Nahebereich der Schlackenhügel 2 und 3 konnte eine größere Limonit-Geode (17 x 10 x 16 cm) geborgen werden (Abb. 4: A). Diese besitzt eine dichte Schale an Eisenhydroxid, ist innen hohl und von brauner bis dunkelbrauner Farbe.

Die Schlackenfunde ließen sich in verschiedene Typen an Eisenhüttenschlacken nach SPERL²² unterscheiden. Die Ofenschlacken (Typ B1) stammen aus dem Inneren des Verhüttungsofens (Abb. 4: C). Sie sind während des Betriebs in tiefere Bereiche des Ofens abgesunken oder nahe der kalten Ofenwand erstarrt und konnten deshalb nicht gezielt abgeleitet werden. Sie sind von Holzkohleneinschlüssen und -abdrücken geprägt, und deren Oberfläche ist häufig auf Grund der Korrosion darin eingeschlossenes Eisen rostig. Im Bruch sind die Ofenschlacken porös bis blasig und von dunkelgrauer Farbe. Im Nahebereich ehemaliger Ofenwandbereiche kann auch eine graue bis dunkelgrüne Bruchfarbe beobachtet werden. Zum Teil sind auch Fließstrukturen vom Absinken der Schlacke durch die Holzkohlenfüllung in tiefere Bereiche des Verhüttungsofens zu erkennen.

Bei den Ofenwandschlacken (Typ B2) handelt es sich um innen verschlackte Ofenschachtfragmente. Auf der Innenseite der Ofenwandschlacken zeugen buckelartige Schlackengebilde mit schwachen Fließtendenzen vom Abschmelzen der Ofenwandung durch hohe thermische Belastung. Die Schachtwände selbst wurden aus Lehm mit Sand- und Steinmagerung aufgebaut. Sie sind in der Regel stark geklüftet und von tiefen Rissen durchzogen, in welche zum Teil die Schlacke aus dem Inneren eingedrungen ist. Unter den geborgenen Ofenwandschlacken befindet sich ein größeres konisches Schachtfragment aus Schlackenhügel 2 (Abb. 3). Das 44 x 37 cm abmessende Stück weist im unteren Teilbereich einen Schachtinnendurchmesser von rund 40 cm und im oberen einen Innendurchmesser von rund 25 cm auf. Dimensionsmäßig ist demnach betreffend der Ofenbauform auf einen sogenannten Rennofen zu schließen. Zwar kann aus dem zur Verfügung stehenden Fundmaterial die ursprüngliche Schachthöhe noch nicht zweifelsfrei rekonstruiert werden, doch wird auf Grundlage der Innenabmessungen von einer Schachthöhe von rund 1–1,5 Metern auszugehen sein. In einem Eckbereich im unteren Abschnitt des größeren Schachtfragmentes ist die Verschlackung im Ofeninneren glatt verflossen. Auch ist dort eine Kante im Ofenquerschnitt sowie nachträglich in den Ofenmantel eingeformter Lehm mit Verstreichspuren

22 SPERL 1980, 16–17.

zu beobachten. Diese Spuren deuten auf eine unmittelbar darunter befindliche Einbaustelle einer Düse hin. Nachdem bei den Ofenwandschlacken keine äußeren Ofenwandbereiche erhalten geblieben sind, kann vorerst noch nichts über die ehemalige Wandstärke der Ofenschächte ausgesagt werden. Auch bleibt offen, ob es sich um freistehende oder in eine Grube oder in den Hang eingebaute Schachtofen²³ handelte.

Aus Schlackenhügel 3 konnte der Rest einer verschlackten Düse (Typ B₃) geborgen werden (Abb. 4: D). Bei der Düse handelt sich um ein in den Ofenschacht eingemauertes Keramikrohr, mit welcher die künstliche Luftzufuhr in den Ofen bewerkstelligt wurde. Durch sie konnte etwas Abstand von der Hochtemperaturzone zur Schachtwand geschaffen werden, wodurch diese weniger stark abschmolz. Die Düse im Fundmaterial ist sehr stark mit Sand gemagert und weist bei einer Wandstärke von 33 mm einen Innendurchmesser von ca. 28 mm auf. Das erhaltene Exemplar ist im vorderen Bereich stark abgebrannt und verschlackt und ragte am Ende der Verhüttungstätigkeit noch 62 mm in den Ofenschacht. Reste anhaftender Ofenwand zeugen von einem schräg nach unten²⁴ weisenden Einbau²⁵ der Düse in den Verhüttungsöfen.

Weiters fanden sich zahlreiche Fließschlacken (Typ C₁) im Fundmaterial der Schlackenhügel (Abb. 4: B). Diese wurden während der Verhüttungstätigkeit von den Rennöfen abgestochen und erstarrten außerhalb derselben in einer dem jeweiligen Ofen vorgelagerten Schlackenmulde. Sie bestehen aus übereinander geflossenen Lagen an ausgetretener Schlacke und lassen an der Oberfläche Fließstrukturen erkennen. Im Bruch sind sie dunkelgrau und meist kompakt, vereinzelt weisen sie auch Blasen auf. Bei einigen Fließschlacken haben sich Teile der Unterseite erhalten, die auf eine kugelsegmentartig ausgeformte Schlackenmulde im Vorfeld der Verhüttungsöfen schließen lassen.

Auch sind einzelne Schlackenfladen (Typ D₂) im Fundmaterial enthalten. Diese stammen nicht von der Eisenverhüttung, sondern von Schmiedeprozessen und sind wie die Verhüttungsschlacken letztlich an den Schlackenhügeln deponiert worden. Die schlecht erhaltenen Typenvertreter haben eine rostige Oberfläche, zahlreiche Holzkohleneinschlüsse und einen porösen bis blasigen Bruch. Sie sind demnach makroskopisch leicht mit den Ofenschlacken (Typ B₁) zu verwechseln. So sich eine Schmiedeschlacke nicht als typischer plankonvexer Fladen²⁶ zu erkennen gibt oder eine Ofenschlacke einen Teilbereich des Innenraums des Verhüttungsöfens abbildet, kann eine Unterscheidung der beiden Typen nur durch mikroskopische Gefügeanalysen zuverlässig bewerkstelligt werden.

23 Vgl. PLEINER 2000, 172–188.

24 Die Düse war im Winkel von 16° zur Ofenwand eingebaut.

25 Vgl. KERBLER – KRAINZ 2013, 107–109.

26 CECH – WALACH 1998, 72–78; GASSMANN 2004, 71–74; GASSNER et al. 2019, 188–190.

Mikroskopische Gefügeanalysen

Von den bisher aufgesammelten Schlackenfunden vom Hausruckwald wurden einige repräsentative Schlacken unterschiedlichen Typs zur Beprobung ausgewählt.²⁷ Dabei handelt es sich um eine Ofenschlacke aus Schlackenhügel 3, eine Ofenschlacke aus Schlackenhügel 2, je zwei Fließschlacken aus Schlackenhügel 2 und 3 sowie eine Schmiedeschlacke aus Schlackenhügel 2. Die Schlacken wurden mit einer Diamant-Gesteinstrennsäge unter Wasserkühlung aufgeschnitten und nach der Auswahl geeigneter Probenbereiche auf die entsprechende Größe zugeschnitten. Anschließend wurden die Proben in Epoxidharz²⁸ kalt eingebettet, mit Diamantschleifscheiben²⁹ mit aufsteigender Körnungszahl geschliffen und mit monokristallinen Diamantsuspensionen³⁰ poliert. Die Untersuchung des Probenmaterials erfolgte mit einem Auflichtmikroskop Olympus BX53M samt Kamera DP27 und der Analysesoftware Stream Essentials.

Ofenschlacke

Die untersuchte Ofenschlacke besteht aus einer glasigen Schlackenmatrix, in welche zahlreiche Eiseneinschlüsse eingebettet sind (Abb. 5: A und B). Das eingeschlossene Eisen ist von globularer, langgestreckter oder schwammartiger Form. Es kommt in den Gefügeausprägungen Ferrit, Ferrit mit Tertiärzementit oder Ferrit-Perlit vor. Beim Perlit handelt es sich um eine lamellare Abfolge aus Ferrit und der Eisen-Kohlenstoffverbindung Zementit (Fe_3C). Im fertigen Schmiedeeisen kann der darin gelöste Kohlenstoff durch entsprechende Wärmebehandlung in ein Härtegefüge (insb. Martensit) überführt werden. Aus den beobachteten Gefügebestandteilen darf folglich geschlossen werden, dass der im Rennofen erzeugte Eisenschwamm, die sogenannte Luppe, aus einem Gemisch aus weichem Eisen³¹ und härtbarem Stahl im untereutektoiden Bereich ($C < 0,8 \%$) bestand. Weiters sind in der Ofenschlacke auch einige Eiseneinschlüsse mit sogenanntem Widmanstättengefüge zu erkennen (Abb. 5: A), einer Gefügestruktur mit lang gestreckten Ferritkörnern, die in bestimmten Winkeln zueinander ausgerichtet sind. Ein derartiges Gefüge ist charakteristisch für eine lange Verweildauer des Eisens bei hohen Temperaturen, wie es vor allem bei Ofenschlacken angenommen

²⁷ Allgemeines zur Probenaufbereitung und zur mikroskopischen Gefügeanalyse siehe: OETTEL – SCHUMANN 2011; SALBERT 2015; PETZOW 1994; CLOEREN 2014; SCOTT – SCHWAB 2019.

²⁸ Schmitz Epoclear 2000.

²⁹ Struers MD-Piano, Körnungen 220, 600, 1200 und 2000.

³⁰ Schmitz monokristalline Diamantsuspensionen 6, 3 und 1 μm .

³¹ Beim Schmieden wurde lange Zeit in nicht härbares „Eisen“ und härtbaren „Stahl“ unterschieden. Diese Bezeichnungen entsprechen nicht den aktuellen Normbegriffen.

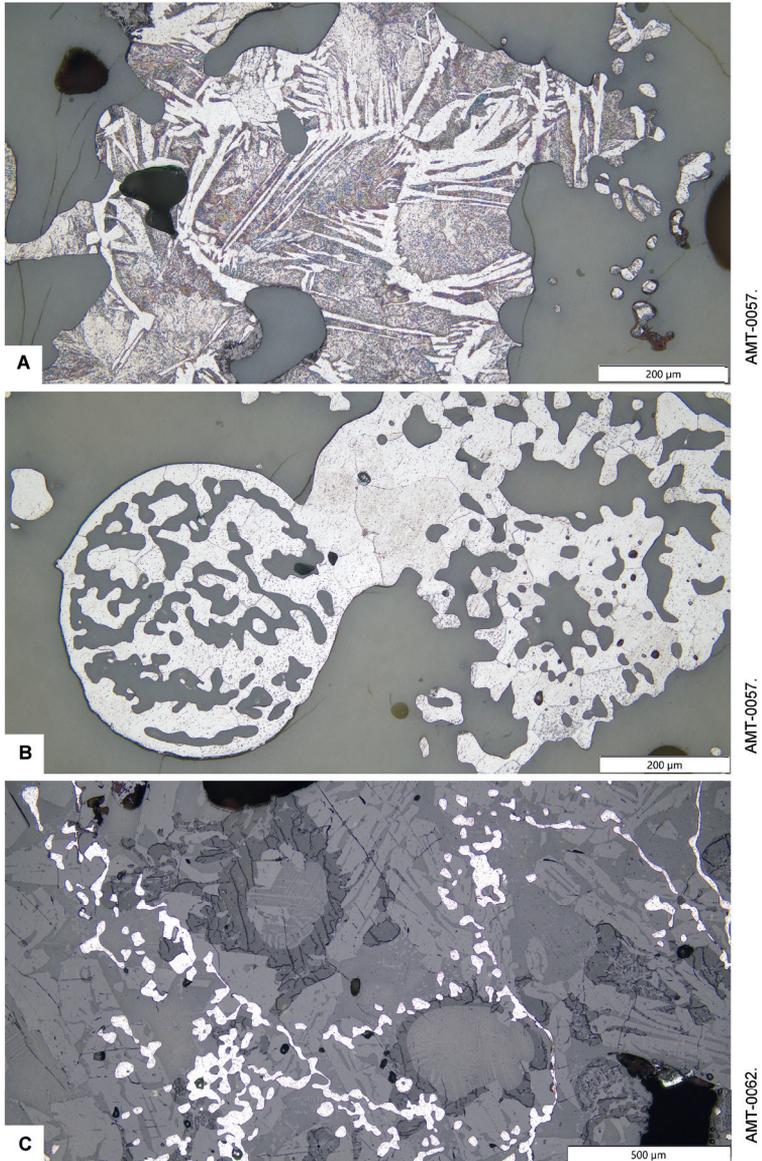


Abb. 5: A) Eiseneinschluss in Ofenschlacke bestehend aus langgestrecktem Ferrit (weiß) in Widmanstättenanordnung und Perlit (bräunlich grau); B) Ofenschlacke mit schwammartigem Eiseneinschluss bestehend aus Ferrit (weiß) und Ferrit mit Tertiärzementit (dunkelgrau) an den Korngrenzen; C) Ofenwandschlacke mit nicht aufgeschmolzenen Ofenwandbestandteilen (dunkelgrau), Fayalitleisten (grau) und Eiseneinschlüssen (weiß).

werden darf. Auch sind einige größere nicht aufgeschmolzene Ofenbestandteile sowie Holzkohle in der untersuchten Ofenschlacke eingeschlossen.

Ofenwandschlacke

Die angeschliffene Ofenwandschlacke lässt ein Gefüge aus Fayalitleisten (Fe_2SiO_4) in Glasmatrix erkennen (Abb. 5: C). In der Schlacke eingeschlossen finden sich zahlreiche nicht aufgeschmolzene Ofenbestandteile, die vom kontinuierlichen Abschmelzen der Ofenwandung in Folge der hohen Temperaturbelastung resultieren. Auch sind häufig globulare oder langgestreckte Eiseneinschlüsse zu beobachten.

Fließschlacken

Weiters konnten zwei Fließschlacken aus Schlackenhügel 2 sowie zwei Fließschlacken aus Schlackenhügel 3 auflichtmikroskopisch untersucht werden. Zumeist bestehen die Fließschlacken vom Hausruckwald aus Fayalitleisten (Abb. 6: A) und sekundär ausgeschiedenem Fayalit und/oder Wüstit (FeO). Primär ausgeschiedener Wüstit oder eine kotektische Bildung von Wüstit mit Fayalit ist vor allem in einer Fließschlacke aus Schlackenhügel 3 zu beobachten (Abb. 6: B), welche sich bei den chemischen Analysen als die an Eisenoxid reichste Vertreterin ihrer Art herausstellen wird. Der bereits makroskopisch zu beobachtende Aufbau der Fließschlacken aus übereinander geflossenen Lagen kann im Mikrogefüge weiterverfolgt werden. Die Lagengrenzen werden dabei in der Regel von einem dichten Eisenoxidband gebildet (Abb. 6: A), in dessen Umkreis sich häufig weitere Eisenoxide in Form von Wüstitdendriten oder Magnetitpinellen finden. Bei einer der untersuchten Fließschlacken zeichneten sich die verschiedenen Lagen lediglich durch unterschiedlich lang gewachsene und orientierte Eisensilikate ober- bzw. unterhalb einer Trennlinie aus. Im unteren Bereich von Lagenstrukturen kann häufig ein Anwachsen der Fayalitleisten beobachtet werden (Abb. 6: A). Dies lässt auf ein Auflaufen der aus dem Verhüttungs-ofen abgestochenen Schlacke auf eine kalte Schlackenoberfläche schließen. Häufig sind dort die Fayalitleisten büschelförmig ausgeprägt. Es können aber auch immer wieder Lagen beobachtet werden, bei denen die Fayalitleisten im oberen und im unteren Lagenbereich annähernd gleich groß ausgestaltet sind. Dies lässt wiederum auf ein Auflaufen der flüssigen Schlacke auf eine heiße Oberfläche schließen. Vereinzelt können in den Fließschlacken globulare Eiseneinschlüsse beobachtet werden. Auch sind in manchen Fließschlacken Ofenwandbestandteile in die Schlackenmatrix eingeschlossen.

Schmiedeschlacke

Die untersuchte Schmiedeschlacke lässt einen häufig wechselnden Phasenbestand erkennen, wie es für Schlacken dieses Typs charakteristisch ist. Dies ist auf häufig wechselnde Arbeitsbedingungen und –prozesse während der Schlackenbildung zurückzuführen.³² In der untersuchten Schmiedeschlacke sind häufig Olivinleisten und unterschiedlich ausgeprägter Wüstit zu beobachten. Letzterer kann in Form von Dendriten in das Gefüge eingebettet sein oder kommt als kotektische Bildung in den Olivinleisten vor. Weiters finden sich Eisenoxide (v. a. Wüstit und Magnetit) in Form von dichten Bereichen oder länglichen Strukturen. Dabei handelt es sich um die Überreste von Hammerschlagschuppen, also um die vormalige schwarze Oxidschicht des Schmiedeeisens, welche sich im glühenden Zustand unter Luftzufuhr bildet und beim Schmieden, aber auch im Schmiedeherd von der Werkstückoberfläche abblättert.³³ Entsprechend erhaltene Hammerschlagschuppen geben die Oberfläche wieder, von der sie abgegangen sind.³⁴ Gezackte oder gebogene Vertreter von Hammerschlagschuppen, wie sie in der untersuchten Schmiedeschlacke beobachtet werden können (Abb. 6: C), lassen auf eine unebene Werkstückoberfläche bzw. auf Kaltprozesse schließen.³⁵ Beides spricht für das Ausheizen, also den Reinigungsprozess der im Rennofen erzeugten Eisenschwämme. Auch die in der untersuchten Schmiedeschlacke besonders zahlreich vorhandenen und oft noch schwammartig ausgeprägten Eiseneinschlüsse sind für Ausheizschlacken charakteristisch.³⁶ Beim Ausheizprozess wurde der im Rennofen erzeugte Eisenschwamm auf Weißglut erhitzt und in diesem Zustand mit dem Hammer bearbeitet. Dadurch wurden Schlacken und andere Unreinheiten aus der Luppe herausgepresst und vormalig vorhandene Luftporen zu kompaktem Eisen zusammengeschweißt.

Chemische Analysen

Die Eisenerzfunde sowie die mikroskopierten Schlackenproben wurden mittels Röntgenfluoreszenzanalyse³⁷ auf ihre chemische Zusammensetzung untersucht. Die Anschliffe der Schlacken konnten dabei ohne weitere Aufbereitung direkt analysiert werden. Die Eisenerze wurden mittels wassergekühlter

³² GASSMANN 2004, 75–76.

³³ GASSMANN 2004, 76.

³⁴ GASSMANN 2004, 76–79.

³⁵ GASSMANN 2004, 79.

³⁶ GASSMANN 2004, 76.

³⁷ Allgemeines zur Röntgenfluoreszenzanalyse siehe: HAHN-WEINHEIMER – HIRNER – WEBER-DIEFENBACH 1984; SHACKLEY 2012; SHUGAR – MASS 2012.

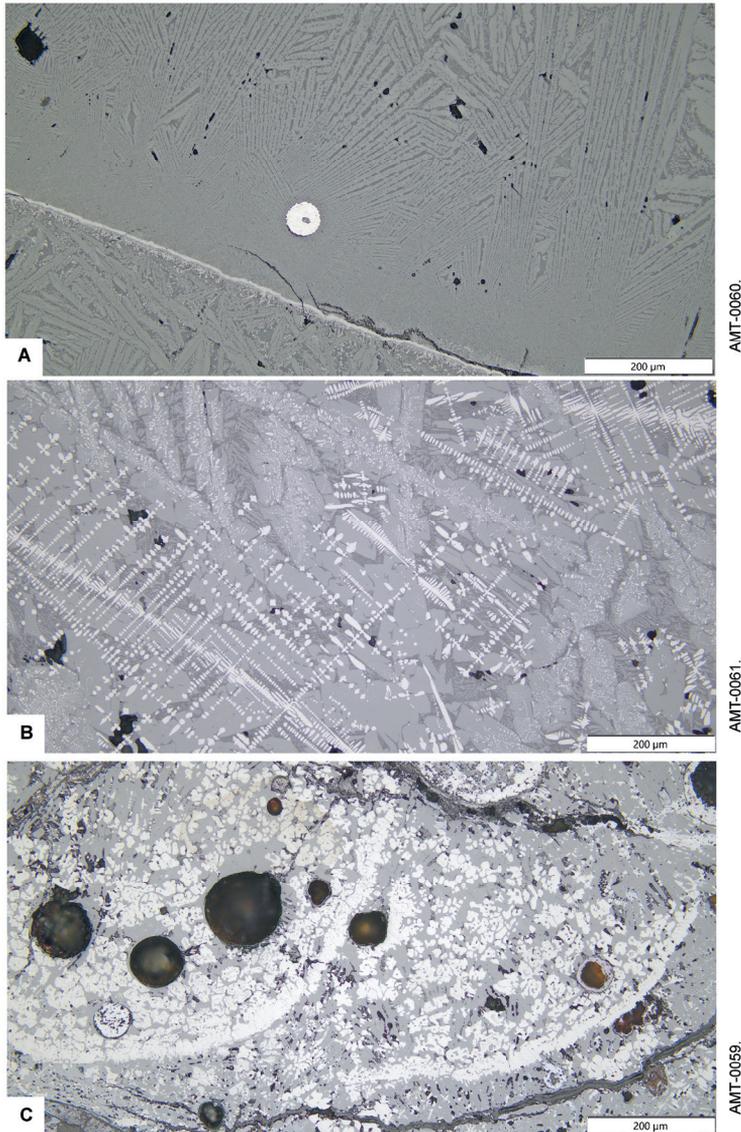


Abb. 6: A) Fließschlacke bestehend aus Fayalitleisten (grau) in Glasmatrix (dunkelgrau) und einzelnen Gasblasen (schwarz), Lagengrenze bestehend aus einem Band an Eisenoxiden (hellgrau), darüber Fayalit büschelförmig angewachsen, globularer Eiseneinschluss (weiß) in der oberen Lage; B) Fließschlacke mit Fayalitleisten (grau), primär ausgeschiedenen Wüstitendriten (hellgrau) sowie kotektische Bildungen von Wüstit und Fayalit; C) Ausheizschlacke mit bogenförmigen und in Auflösung begriffenen Hammerschlagschuppen (hellgrau).

Proben-Nr	Ansprache	Fundstelle	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	S	Cl	V	Cr	Co
AMT-0053	Eisenerz-Geode	Graben Schusterbrunn	0,83%	7,81%	26,60%	0,77%	0,76%	0,34%	0,57%	62,13%	329	80	24	32	-
AMT-0115	Eisenerz-Niere	Pingenfeld Anzberg	3,79%	5,58%	10,32%	0,15%	0,25%	0,14%	3,20%	76,20%	1 510	-	-	-	-
AMT-0119	Eisenerz-Geode	Pingenfeld Anzberg	2,52%	6,65%	15,01%	0,31%	0,26%	0,13%	1,62%	73,36%	-	274	-	-	-
AMT-0124	Eisenerz-Geode	Schottergrube Schernham	2,64%	6,14%	16,23%	0,34%	0,30%	0,13%	2,71%	71,20%	633	-	-	-	-
AMT-0054	Eisenerz-Platte	Graben Schusterbrunn	0,39%	10,66%	39,62%	0,57%	0,22%	0,61%	0,13%	47,63%	-	-	24	21	300
AMT-0055	Eisenerz-Platte	Graben Schusterbrunn	0,92%	11,45%	45,74%	0,50%	0,32%	0,51%	0,01%	40,35%	-	-	-	28	607
AMT-0114	Eisenerz-Platte	Pingenfeld Anzberg	1,45%	5,90%	54,67%	0,12%	0,27%	0,17%	1,57%	35,64%	552	-	-	-	-
AMT-0116	Eisenerz-Platte	Pingenfeld Anzberg	1,73%	7,39%	42,43%	0,58%	0,49%	1,29%	1,09%	44,61%	1 100	-	-	101	-
AMT-0117	Eisenerz-Platte	Pingenfeld Anzberg	1,33%	7,82%	51,23%	0,67%	0,35%	0,68%	1,99%	35,64%	610	-	203	152	-
AMT-0118	Eisenerz-Platte	Pingenfeld Anzberg	0,00%	8,49%	50,01%	0,35%	0,38%	0,41%	1,66%	38,55%	361	-	-	-	-
AMT-0120	Eisenerz-Platte	Schottergrube Urhamer	0,00%	5,25%	53,18%	0,29%	0,22%	0,19%	1,52%	39,17%	-	-	-	-	-
AMT-0121	Eisenerz-Platte	Schottergrube Urhamer	0,00%	4,47%	60,26%	0,12%	0,25%	0,20%	0,12%	34,45%	183	-	-	-	264
AMT-0122	Eisenerz-Platte	Schottergrube Urhamer	0,00%	4,39%	57,03%	0,29%	0,20%	0,19%	0,06%	37,68%	166	-	-	59	263
AMT-0112	Eisenerz-Platte	Weg Hausruck-Atzberg	0,00%	4,05%	62,52%	0,32%	0,19%	0,16%	0,03%	32,56%	476	-	-	-	-
AMT-0123	Eisenerz-Platte	Ampfwanger Höhe	0,00%	7,01%	36,93%	0,58%	0,43%	0,56%	0,08%	54,19%	338	-	-	72	491
AMT-0062	Ofenwandschlacke	Schlackenhügel 3	0,88%	11,84%	35,06%	0,31%	0,93%	0,31%	3,22%	46,48%	901	6 877	-	-	-
AMT-0057	Ofenschlacke	Schlackenhügel 2	1,07%	7,28%	33,09%	0,18%	1,33%	0,26%	2,23%	53,54%	966	8 266	-	-	-
AMT-0056	Fließschlacke	Schlackenhügel 2	0,00%	8,92%	36,77%	0,38%	1,02%	0,26%	4,79%	44,93%	-	27 194	-	-	-
AMT-0058	Fließschlacke	Schlackenhügel 2	1,89%	12,84%	32,14%	0,28%	0,83%	0,37%	3,12%	47,92%	74	4 257	-	29	-
AMT-0060	Fließschlacke	Schlackenhügel 3	2,52%	11,30%	33,45%	0,28%	0,74%	0,33%	3,79%	46,97%	135	4 099	-	-	-
AMT-0061	Fließschlacke	Schlackenhügel 3	3,59%	8,11%	27,05%	0,25%	0,91%	0,26%	2,76%	56,02%	51	9 180	-	-	-
AMT-0059	Ausheizschlacke	Schlackenhügel 2	0,00%	5,54%	17,21%	0,25%	0,48%	0,15%	1,47%	71,38%	2 179	31 533	-	-	314

Tab. 1: Pauschalchemische Zusammensetzung der Eisenerz- und Schlackenproben; Haupt- und Nebenelemente in Oxide umgerechnet und in Prozent dargestellt; Spurenelemente in PPM; Ergebnisse normiert auf 100 Gew. %.

Diamanttrennscheibe aufgeschnitten und deren Schnittfläche mittels einer wassergekühlten Diamantplanschleifscheibe geebnet. Zur Erhaltung des musealen Gebrauchswertes der größeren Eisenerzgeode³⁸ wurden bei selbiger lediglich drei Messfenster mit der Polierscheibe eines Stabschleifers freigelegt. Die Analysen selbst erfolgten mit einem Röntgenfluoreszenzanalysator Olympus Vanta VCA im Modus GeoChem 3-Beam mit 20 Sekunden Messdauer je Beam. An jeder Probe wurden mehrere Messungen durchgeführt und die Messergebnisse anschließend gemittelt. Die Haupt- und Nebenelemente wurden zur besseren Vergleichbarkeit mit Schlackenanalysen anderer Fundorte in Oxide³⁹ umgerechnet und die Ergebnisse im Anschluss wieder auf 100 Gewichtsprozent normiert.

Unter den Eisenerzen weisen die Geoden bzw. Nieren im Vergleich zu den plattigen Erzen einen deutlich höheren Eisenoxidgehalt auf. Während erstere durchschnittlich 70,7 Gew. % FeO enthalten, haben die plattigen Erze lediglich einen durchschnittlichen Eisenoxidgehalt von rund 40,0 Gew. %. Die untersuchten Verhüttungsschlacken enthalten durchschnittlich 49,3 Gew. % FeO. Nach SCHÜRMANN muss im Rennofenverfahren der Eisenoxidgehalt des Erzes höher sein als jener der Schlacke, damit überhaupt eine Eisenausbringung möglich ist.⁴⁰ Demnach würde sich Eisenerz in der Qualität der Limonit-Geoden hervorragend für die Eisenverhüttung eignen. Der Eisenoxidgehalt der plattigen Erze wäre zum Teil im unteren verwendbaren Bereich bzw. überwiegend zu gering für eine erfolg-

38 Probe AMT-0054.

39 Die Eisenoxide wurden dabei als FeO dargestellt.

40 SCHÜRMANN 1958, 1307, Abb. 12.

Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	W	Hg	Pb	Bi	La	Ce	Pr	Nd
128	108	353	49	2	52	29	30	72	8	6	-	-	66	-	198	-	-	5	93	173	74	-	110
-	140	95	48	5	9	15	49	25	-	-	-	-	102	62	234	-	-	-	263	410	-	322	398
25	112	95	43	14	34	28	43	37	9	-	-	-	67	-	337	-	-	-	194	-	118	-	-
97	115	157	60	8	25	33	112	28	5	-	-	-	91	41	505	-	-	-	215	89	124	439	237
-	63	164	45	4	51	29	26	183	16	2	-	-	67	11	264	-	-	4	58	34	34	87	220
31	69	197	4	-	81	32	25	134	13	4	-	-	45	-	272	-	-	-	21	-	181	-	185
40	38	52	-	-	45	37	25	50	-	-	-	-	58	-	242	-	-	-	23	-	124	258	469
50	96	101	26	10	47	47	76	1408	18	-	-	-	59	-	339	-	-	-	95	-	323	-	-
416	36	97	171	-	62	38	55	380	7	-	-	-	28	-	319	-	-	8	-	-	136	-	290
194	44	71	30	5	84	46	25	90	8	-	9	-	25	-	427	-	-	-	24	-	-	-	-
63	-	61	11	8	32	46	30	43	10	-	-	-	44	62	544	-	-	-	68	340	350	-	-
-	60	56	-	-	31	20	25	36	-	-	-	-	63	67	174	-	-	-	-	213	244	-	-
-	38	57	-	6	28	17	27	19	-	-	-	-	83	-	205	-	-	-	-	-	-	-	702
193	-	42	44	-	22	17	17	40	-	5	-	-	30	-	169	-	-	-	-	138	281	264	-
-	127	148	51	-	41	31	81	370	13	-	-	-	-	97	240	-	-	-	95	-	-	-	-
-	67	27	10	2	69	56	36	76	4	-	-	-	38	-	558	-	-	-	119	141	208	216	256
-	98	46	14	3	61	66	43	65	7	-	-	-	20	-	282	-	-	-	58	97	-	-	201
-	62	56	-	-	31	50	74	43	-	5	-	-	-	38	704	-	-	-	-	-	316	-	795
-	71	22	11	9	78	46	52	70	-	-	-	-	64	-	530	-	-	-	143	-	130	186	217
-	77	49	8	-	56	41	48	67	4	-	-	-	42	-	530	-	-	-	93	130	280	-	499
-	80	36	14	6	36	38	36	47	-	3	-	-	24	-	350	-	-	-	48	-	229	-	178
-	159	52	31	-	24	25	31	35	6	-	-	-	34	-	336	-	-	-	281	38	48	-	101

reiche Verhüttung nach dem im Hausruckwald in Gebrauch gestandenen Verfahren gewesen. Vergleicht man die Eisenoxidgehalte der untersuchten Fließschlacken der Schlacken Hügel 2 und 3, kann beobachtet werden, dass jene des Schlacken hügels 2 mit durchschnittlich rund 46,4 Gew. % geringere Eisenoxidgehalte als jene des Schlacken hügels 3 mit durchschnittlich rund 51,5 Gew. % aufweisen. Zwar ist der Probenumfang bei den Schlacken derzeit noch relativ gering, doch dürfte am Verhüttungsplatz bei Schlacken hügel 2 effektiver gearbeitet worden sein als am Verhüttungsplatz bei Schlacken hügel 3. Das würde für Verhüttungsplatz 2 auf ein höheres Eisenausbringen im Verhältnis zum eingebrachten Erz schließen lassen. Zur mengenmäßigen Abschätzung der wahrscheinlichen Produktionsmengen an den Verhüttungsplätzen könnten in weiterer Folge durch eine kleinräumige Grabung die Schlackenmengen pro Raumeinheit⁴¹ bestimmt werden. Zusammen mit den Ergebnissen der chemischen Analysen wären damit Modellrechnungen⁴² zu den wahrscheinlichen Produktionsmengen an Eisen bzw. die dafür benötigten Abbaumengen an Rohstoffen möglich.

Die chemisch untersuchten Fließschlacken von Schlacken hügel 2 und 3 weisen im Durchschnitt neben den moderaten FeO-Gehalten relativ hohe SiO₂-Gehalte von durchschnittlich 32,4 Gew. %, hohe Al₂O₃-Gehalte (durchschn. 10,3 Gew. %) und niedrige CaO-Gehalte (durchschn. 0,88 Gew. %) auf. Mit dieser chemischen Zusammensetzung entsprechen sie den zahlreichen Beispielen

41 CECH – WALACH 1998, 77–78.

42 Vgl. GANZELEWSKI 2000, 64–67; MEHOFER 2004, 108–112; KERBLER 2019, 219–220; KERBLER 2021, 89–91.

an Verhüttungsschlacken⁴³, welche mit der Eisenverhüttung in Rennöfen in Verbindung gebracht werden können. Die geringen CaO-Gehalte schließen eine zusätzliche Möllierung mit Kalk⁴⁴ zum Zwecke einer höheren Eisenausbringung aus. Dennoch ist der frühgeschichtliche Eisenverhüttungsprozess im Hausruckwald relativ effizient betrieben worden, da sich die Eisenoxidgehalte in den Fließschlacken mit durchschnittlich rund 49 Gew. % im moderaten bis relativ geringen Bereich für die Eisenverhüttung in Rennöfen bewegen.

Die beiden Eisenerztypen lassen sich neben dem deutlich divergierenden Eisenoxidgehalt besonders durch den jeweiligen Siliziumdioxidgehalt unterscheiden. Wie es schon der makroskopische Eindruck offenbart, ist der SiO₂-Gehalt der stark sandhaltigen Erzplatten (durchschn. 50,3 Gew. %) deutlich höher als jener der Erzgeoden bzw. -nieren (durchschn. 17,0 Gew. %). Auch betreffend die Neben- und Spurenelemente lassen sich die Erztypen recht gut unterscheiden. So enthalten die eisenreichen Konkretionen u.a. durchschnittlich mehr Mangan, mehr Magnesium, mehr Kupfer, mehr Zinn und weniger Titan als die plattigen Eisenerze vom Hausruckwald (Tab. 1). Nachdem Titan eine deutlich größere Affinität zu Sauerstoff aufweist als Eisen und erst in weit über den in Rennöfen üblichen Temperaturen ausreduziert werden würde⁴⁵, geht dieses Element im Rennofenverfahren in die Schlacke über. Bezüglich des Sauerstoffpotentials liegt Mangan etwas näher am Eisen, doch reichen die durchschnittlichen Temperaturen in einem Rennofen in der Regel nicht aus, um es auszureduzieren.⁴⁶ Phosphor liegt hingegen bezüglich des Sauerstoffpotentials enger an den diesbezüglichen Bereichen des Eisens und wird im Rennofen, abhängig von den darin herrschenden Bedingungen, zu zirka 30 % ausreduziert.⁴⁷ Berücksichtigt man diese und weitere An- oder Abreicherungen⁴⁸ von Elementgehalten während des Rennofenprozesses, kann eine höhere chemische Übereinstimmung der Erzgeoden bzw. -nieren mit den aus den Halden geborgenen Schlackenfunden festgestellt werden als mit der Zusammensetzung der plattigen Eisenerze. Es dürften folglich gezielt die hochwertigen eisenreichen Konkretionen für die Eisenverhüttung im Hausruckwald verwendet worden sein.

43 An dieser Stelle seien nur einige Beispiele für chemisch analysierte Rennofenschlacken ausgeführt: ESPELUND 2013, 57–66; GANZELEWSKI 2000, 37–38; GÖMÖRI 2000, 243–245; KEESMANN – KRONZ 2013, 252–263; KERBLER 2019, 215; KERBLER 2021, 87; MEHOFER 2004, 94–105; PLEINER 2000, 251–253; TÖRÖK 1999, 160–169; YALÇIN – HAUPTMANN 1995, 269–309.

44 Vgl. KEESMANN – KRONZ 2013, 252–263; KEESMANN – HEZARKHANI – KRONZ 2013, 265–278; YALÇIN – HAUPTMANN 2003, 135–140.

45 Vgl. Richardson-Ellingham-Diagramm für Oxide (z.B. in: WENDELSTORF 2015, 134, Abb. 4.11).

46 SPERL 2002, 63; STRAUBE 1996, 55; KERBLER 2019, 215.

47 SPERL 2002, 63.

48 KERBLER 2017, 68–71; KERBLER 2019, 215–216.

Ausblick

Durch die archäometallurgischen Untersuchungen und die räumlichen Analysen zur frühgeschichtlichen Eisengewinnung im Hausruckwald konnten die dort stattgefundenen Arbeitsprozesse umrissen und vermutlich zugehörige Erzabbaustätten ausgemacht werden. Weiterführend ist geplant, das Areal um die bekannten Schlackenhalden und Erzpingen systematisch zu erkunden. Damit könnten weitere Verhüttungs- oder Abbaustätten lokalisiert werden und das Bild der frühgeschichtlichen Montanlandschaft weiter verdichtet werden. Nachdem es durchaus vorstellbar ist, dass sich die Eisengewinnung im Hausruckwald auf römerzeitliche Traditionen stützt, sollen von etwaigen weiteren Schlackenhalden Holzkohlenproben entnommen und datiert werden. Nach umfassenden Voruntersuchungen würde es sich in Folge anbieten, das Areal im Umkreis einer ungestörten Schlackenhalde archäologisch zu ergraben, um mögliche Produktionseinrichtungen in situ antreffen und dokumentieren zu können. Damit könnten etwa Fragen betreffend der genauen Ofenbauform und etwaiger Weiterverarbeitungseinrichtungen geklärt werden.

Zusammenfassung

Im Hausruckwald südlich von Eberschwang fanden sich bislang drei Schlackenhalden der Eisengewinnung. Auf Grund von C₁₄-Analysen von Holzkohlenproben können diese in das 5./6. Jh. n. Chr. datiert werden. Als Erzgrundlage für die Eisenverhüttung wurden lokal anstehende eisenreiche Limonit-Geoden bzw. -Nieren verwendet, wie sie im Nahebereich der Schlackenfundstellen vorkommen. Am Urhamerberg, wo sich in den Schotterablagerungen ebensolche Erze befinden, konnten im Gelände Pingenfelder ausgemacht werden. Diese unterscheiden sich klar von jenen des jüngeren Braunkohlebergbaues und könnten die Überreste frühgeschichtlicher Erzabbauhöfen darstellen. Aus den Schlackenhängen geborgene Schlackenfundstücke und Ofenüberreste lassen darauf schließen, dass zur Eisenverhüttung Rennöfen mit Schlackenabstich genutzt wurden. Die konischen Ofenschächte wurden aus einem mit Sand und Steinen gemagerten Lehm aufgebaut und hatten einen Innendurchmesser von rund 40 cm. Die künstliche Luftzufuhr erfolgte über zumindest eine in den jeweiligen Ofenschacht eingebaute Keramikdüse. Während des im Hausruckwald relativ effizient betriebenen Verhüttungsprozesses wurde die Schlacke nach außen in eine dem Ofen vorgelagerte Mulde abgestochen. Nachdem die Rennöfen unterhalb der Schmelztemperatur des Eisens betrieben wurden, sammelte sich im Ofengestell im Laufe jeder Verhüttungstätigkeit ein Eisenschwamm, die sogenannte Luppe,

welche am Ende einer jeden Ofenreise aus dem Ofen geborgen wurde. Die in den Rennöfen hergestellten Eisenluppen bestanden den Analysen zur Folge sowohl aus weichem Eisen als auch aus härtbarem Stahl. Ebenso in den Schlackenhalde deponierte Schmiedeschlacken lassen darauf schließen, dass zumindest ein Teil der im Hausruckwald erzeugten Eisenluppen zu gebrauchsfertigem Schmiedeeisen ausgeheizt, also gereinigt und homogenisiert, wurde.

Literaturverzeichnis

CECH – WALACH 1998

B. CECH – G. WALACH, Feldmethoden zur Bewertung historischer Schmiedeschlacken. Methodik und erste Ergebnisse. In: *Archäologie Österreichs* 9/2 (1998), 72–78.

CLOEREN 2014

H.-H. CLOEREN, Materialographische Präparationstechniken. Leitfaden für den Praktiker und Einsteiger. Tipps & Tricks. Vermeidung von Artefakten. Von der Probenentnahme bis zum fertigen Anschliff, Niederkrüchten 2014.

ESPELUND 2013

A. ESPELUND, The evidence and the secrets of ancient bloomery ironmaking in Norway – with an extension to the beginning of the industrial period, Trondheim 2013.

GANZELEWSKI 2000

M. GANZELEWSKI, Archäometallurgische Untersuchungen zur frühen Verhüttung von Raseneisenerzen am Kamberg bei Joldelund, Kreis Nordfriesland. In: A. HAFFNER – H. JÖNS – J. REICHSTEIN (eds.), Frühe Eisengewinnung in Joldelund, Kr. Nordfriesland. Ein Beitrag zur Siedlungs- und Technikgeschichte Schleswig-Holsteins. Teil 2: Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Metallurgie- und Vegetationsgeschichte (Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 59), Bonn 2000, 3–100.

GASSNER et al. 2019

V. GASSNER – C. HASENZAGL – L. J. KERBLER – R. KLINGARBER – T. RIESE – B. ZICKGRAF, Die Oststadt von Velia. Einblicke in die Entwicklung der südöstlichen Terrasse vom 3. Jahrhundert v. Chr. bis in das 3. Jahrhundert n. Chr. In: *Jahreshefte des Österreichischen Archäologischen Institutes in Wien* 88 (2019), 143–200.

GASSMANN 2004

G. GASSMANN, „Schmiedeabfälle“ – Aspekte ihrer naturwissenschaftlichen Untersuchung. In: W. MELZER (eds.), *Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks (Soester Beiträge zur Archäologie 5)*, Soest 2004, 71–80.

GÖMÖRI 2000

J. GÖMÖRI, Az Avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában, Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség = The archaeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and early Árpád period, Register of industrial archaeological sites in Hungary I. Ironworking, Sopron 2000.

GROISS 1989

R. GROISS, Geologie und Kohlebergbau im Hausruck (Oberösterreichische Molasse). In: Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt 11 (1989), 167–178.

HAHN-WEINHEIMER – HIRNER – WEBER-DIEFENBACH 1984

P. HAHN-WEINHEIMER – A. HIRNER – K. WEBER-DIEFENBACH, Grundlagen und praktische Anwendung der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), Wiesbaden 1984.

KEESMANN – KRONZ 2013

I. KEESMANN – A. KRONZ, Archäometallurgische Untersuchungen von Eisenschlacken im Märkischen Sauerland: Die Verhüttungsplätze Nr. 11, 72, 90 und 105. In: A. JOCKENHÖVEL (eds.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäologische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie in Europa (Münstersche Beiträge zur ur- und frühgeschichtlichen Archäologie 7), Rahden/Westfalen 2013, 251–263.

KEESMANN – HEZARKHANI – KRONZ 2013

I. KEESMANN – Z. HEZARKHANI – A. KRONZ, Chemische Zusammensetzung von archäometallurgischen Eisenschlacken im Märkischen Sauerland. In: A. JOCKENHÖVEL (ed.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäologische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie in Europa (Münstersche Beiträge zur ur- und frühgeschichtlichen Archäologie 7), Rahden/Westfalen 2013, 265–278.

KERBLER 2017

L. J. KERBLER, Eisengewinnung und -verarbeitung auf mittelalterlichen Burgen. Am Beispiel der Burgen Feinfeld und Sachsendorf, Niederösterreich, Unpubl. Masterarbeit an der Universität Wien, 2017.

KERBLER 2019

L. J. KERBLER, Eisengewinnung und -verarbeitung auf den mittelalterlichen Burgen Feinfeld und Sachsendorf, Niederösterreich. In: Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich 34/2018 (2019), 205–224.

KERBLER 2021

L. J. KERBLER, Die wirtschaftliche Bedeutung der Eisengewinnung und -verarbeitung auf den mittelalterlichen Burgen Feinfeld und Sachsendorf, Niederösterreich. In: S. PISK (eds.), Castle and Economy. Proceedings of The 16th International Castellological Conference (Castrum Bene 16), Popovača 2021, 77–98.

KERBLER – KRAINZ 2013

L. J. KERBLER – A. KRAINZ, Ein frühmittelalterlicher Eisenverhüttungsplatz in Dörfl, Burgenland. In: N. HOFER – Th. KÜHTREIBER – C. THEUNE (eds.), Mittelalterarchäologie in Österreich. Eine Bilanz. Beiträge der

Tagung in Innsbruck und Hall in Tirol, 2. bis 6. Oktober 2012 (Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich 29), Wien 2013, 105–114.

MEHOFER 2004

M. MEHOFER, Archäometallurgische Studien zur Eisenverarbeitung in der awarischen Siedlung Zillingtal/Burgenland, Unpubl. Diplomarbeit an der Universität Wien, 2004.

OETTEL – SCHUMANN 2011

H. OETTEL – H. SCHUMANN (eds.), Metallographie. Mit einer Einführung in die Keramografie. Weinheim 2011.

PETZOW 1994

G. PETZOW, Metallographisches Keramographisches Plastographisches Ätzen (Materialkundlich-Technische Reihe 1), Berlin-Stuttgart 1994.

PLEINER 2000

R. PLEINER, Iron in archaeology. The european bloomery smelters, Prag 2000.

POHL 1968

W. POHL, Zur Geologie und Paläogeographie der Kohlenmulden des Hausruck (Oberösterreich), Unpubl. Dissertation Universität Wien, 1968.

POHL 2015

W. L. POHL, Geologie und Paläogeographie der Kohlenmulden des Hausruck (Oberösterreich). In: *res montanarum* 54 (2015), 4–9.

SALBERT 2015

G. SALBERT, Metallographie. Grundlagen und Anwendung (Materialkundlich-Technische Reihe 14), Stuttgart 2015.

SCOTT – SCHWAB 2019

D. A. SCOTT – R. SCHWAB, Metallography in Archaeology and Art, Cham 2019.

SCHÜRMAN 1958

E. SCHÜRMAN, Die Reduktion des Eisens im Rennfeuer. In: *Stahl und Eisen – Zeitschrift für das Deutsche Eisenhüttenwesen* 78 (1958), 1297–1308.

SHACKLEY 2012

M. St. SHACKLEY (ed.), X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology, New York 2012.

SHUGAR – MASS 2012

A. N. SHUGAR – J. L. MASS (eds.), Handheld XRF for Art and Archaeology. *Studies in Archaeological Sciences* 3, Leuven 2012.

SPERL 1980

G. SPERL, Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken (Studien zur Industrie-Archäologie VII), Wien 1980.

SPERL 2002

G. SPERL, Ferrum Noricum – Stand der Forschung über eine frühe Stahlqualität. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 147/4 (2002), 61–65.

STARKE 1992

K. STARKE, Der Kohlebergbau im Hausruck, Ampflwang 1992.

STRAUBE 1996

H. STRAUBE, Ferrum Noricum und die Stadt auf dem Magdalensberg. Wien – New York 1996.

TÖRÖK 1999

B. TÖRÖK, About the technical investigations of ore, slag and wall-fragment samples found next to the sites of Nemeskér-type furnaces. In: J. GÖMÖRI (eds.), Traditions and innovations in the early medieval iron production = Hagymányok és újítások a korai középkori vaskohászatban, Sopron-Somogyfajs 1999, 160–169.

WALLNER 2013

M. WALLNER, Die späteisenzeitliche Eisenverhüttung im Oberpullendorfer Becken – Eine quellenkritische Analyse zum Stand der Forschung. Unpubl. Diplomarbeit an der Universität Wien, 2013.

WEBER 1997

L. WEBER (ed.), Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1:500000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe (Archiv für Lagerstättenforschung 19), Wien 1997.

WENDELSTORF 2015

J. WENDELSTORF, Prozessmodellierung in der Hochtemperaturverfahrenstechnik. Habilitationsschrift an der Technischen Universität Clausthal, 2015.

YALÇIN – HAUPTMANN 1995

Ü. YALÇIN – A. HAUPTMANN, Archäometallurgie des Eisens auf der Schwäbischen Alb. In: Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 55), Stuttgart 1995, 269–310.

YALÇIN – HAUPTMANN 2003

Ü. YALÇIN – A. HAUPTMANN, Archäometallurgie der früh- und hochmittelalterlichen Eisenverhüttung im Vorland der Schwäbischen Alb. In: Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86), Stuttgart 2003, 127–157.

Abbildungsnachweise:

Abb. 1: Julia Klammer, bearbeitet nach POHL 1968, Tafel VII.

Abb. 2: Julia Klammer

Abb. 3: Lukas J. Kerbler

Abb. 4: Lukas J. Kerbler

Abb. 5: Lukas J. Kerbler

Abb. 6: Lukas J. Kerbler

Tab. 1: Lukas J. Kerbler

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines](#)

Jahr/Year: 2023

Band/Volume: [168](#)

Autor(en)/Author(s): Kerbler Lukas J., Klammer Julia

Artikel/Article: [Archäometallurgische Untersuchungen zur frühgeschichtlichen Eisengewinnung im Hausruckwald 9-34](#)