

Theophilus und die mittelalterliche Verhüttungstechnologie

Theophilus Presbyter – erster namentlich bekannter Künstler und herausragender Autor des 12. Jahrhunderts

Einführung

Theophilus Presbyter ist der mittelalterlichen Geschichte als Autor der ersten Abhandlung zu kunsthandwerklichen Techniken, der „Schedula diversarum artium“, bekannt.¹ Diese Abhandlung zeichnet sich durch sehr klare und praxisbezogene Anweisungen aus. Hier gab ein Kenner der Materie seine eigenen Erfahrungen aus dem praktischen Handwerk wieder, weshalb die „Schedula“ als Quelle zum mittelalterlichen Handwerk von unschätzbarem Wert ist. So ausführlich Theophilus' Beschreibungen zum Glashandwerk, zur Malerei und zur Metallurgie sind, so spärlich sind

die Informationen zu seiner Person. Immerhin gilt es als wahrscheinlich, dass es sich bei Theophilus Presbyter um den Mönch Rogerus oder Rugerus aus Helmarshausen handelt², auch wenn neuere Thesen die Richtigkeit dieser Hypothese erneut zur Diskussion stellen.³ Die erhaltenen Goldschmiedearbeiten des Rogerus zählen zu den bedeutendsten des hohen Mittelalters, wie beispielsweise der Tragaltar des Paderborner Domes.⁴

Freise hat die Lebensstationen des Theophilus nachgezeichnet und gezeigt⁵, dass er um 1070 geboren wurde und sein monastisches Leben im Kloster Stablo in den Ardennen begann. Für die Zeit zwischen 1100 und 1107 gibt es Hinweise, dass er in St. Pantoleon in Köln gewirkt hat, bevor er bis zu seinem Tode im Jahre 1125 die Werkstatt im Kloster Helmarshausen leitete. Es ist anzunehmen, dass Theophilus die Schedula während seiner Zeit in Helmarshausen schrieb. Von zentraler Bedeutung für das Verständnis der mittelalterlichen Kupferverhüttung sind die Kapitel zur Kupfererzeugung und zur Reinigung des Kupfers.

Im Kapitel 63, De cupro (vom Kupfer), beschreibt Theophilus die diagnostischen Merkmale des Erzes sowie dessen Gewinnung, Aufbereitung und den Prozessverlauf der Verhüttung. Die Übersetzung orientiert sich bewusst nahe am lateinischen Original⁶, was zwar die Lesbarkeit beeinträchtigen mag, das technologische Verständnis jedoch erleichtert, da eine freiere moderne Übersetzung zu Fehlschlüssen führen kann:

„Kupfer wird in der Erde geboren. Wenn eine Ader gefunden ist, muss es mit großer Mühe durch Graben und Brechen geborgen werden. Es ist nämlich ein grüner Stein von größter Härte und von Natur aus mit Blei vermischt. Wenn eine große Menge dieses Steines ausgegraben ist, wird diese auf einem Haufen wie Kalk gebrannt. Der Stein verliert zwar nicht seine Farbe, aber seine Härte, so dass es möglich ist, ihn zu zerkleinern. Nachdem er in kleine Stücke zerbrochen ist, wird er in den Ofen eingebracht und Holzkohle und Blasebälge kommen zum Einsatz; die Blasebälge werden ohne Unterbrechung Tag und Nacht betätigt. Dieses muss sorgfältig und vorsichtig geschehen, nämlich so, dass zuerst Holzkohle eingebracht wird, und dann die zerkleinerten Steine [Erze] darüber verteilt werden. Wiederum werden Holzkohle und kleine Steine [Erze] eingebracht und so fortgefahren, bis der Ofen bis zur Kapazität angefüllt ist. Wenn der Stein beginnt, sich zu verflüssigen, fließt zuerst das Blei aus gewissen kleinen Hohlräumen, während das Kupfer innen verbleibt. [...]“

Theophilus und die mittelalterliche Verhüttungstechnologie

Theophilus Presbyter – erster namentlich bekannter Künstler und herausragender Autor des 12. Jh.

Theophilus Presbyter is the author of the first comprehensive encyclopedia on artisan techniques, covering disciplines such as metal work, painting and glass making: the schedula diversarum artium. His descriptions of work practices are precise and provide clear instructions. Three chapters that deal with copper metallurgy were compared to the archaeological and archaeometallurgical results of a contemporary medieval copper/lead smelting site. The excavation at the Huneberg is a late 12th century smelting site, where Rammelsberg ore was used to produce copper and argentiferous lead. By means of a trans-disciplinary approach it was possible for the first time to identify the flow of materials from each singular process step precisely that exceeds a purely schematic reconstruction of the smelting process. Only the close integration of archaeological evidence and archaeometallurgical results allowed for this detailed insight into 12/13th century smelting practices

Theophilus' Schedula wurde viele Male übersetzt und liegt mittlerweile in vielen Sprachen vor. Archäometallurgisch aussagekräftige Übersetzungen präsentierte erstmals Dodwell⁷, der sich über die technologische Relevanz dieses Manuskripts völlig im Klaren war.

Dieser Übersetzung folgten die von Hawthorne und Smith⁸ sowie von Brepohl⁹, die, grob vereinfachend gesagt, dem Werk des Theophilus weitere technologiehistorische und vor allem handwerklich relevante Informationen zu entlocken vermochten. Lediglich mit dem Kapitel zur Kupferverhüttung, sowie der Natur und Herkunft des Kupfererzes schienen die Übersetzer ihre Probleme zu haben. Von verwirrenden Angaben¹⁰ bezüglich der Kupferverhüttung sowie allen anderen Techniken, die Theophilus nur aus zweiter Hand kenne, ist da etwa die Rede bei Hawthorne und Smith, wie Bartels, Klappauf, Fessner und Linke herausgearbeitet haben.¹¹ Zu Theophilus' Zeiten war der Rammelsberg die weitaus wichtigste Kupferlagerstätte Zentraleuropas und dürfte dem erfahrenen Metallhandwerker Theophilus bekannt gewesen sein, zumal sich das Kloster nur etwa 80 km westlich des Harzes befand und Theophilus auch schon mit Kupfer aus dem Harz auf dem Kölner Markt Bekanntschaft gemacht haben könnte. Brepohl hat Überlegungen angestellt, inwieweit sich Theophilus auf oxydische, also an der Erdoberfläche verwitterte Erze des Rammelsbergs¹² beziehen könnte. Bartels und seine Kollegen¹³ haben die Diskussion um die Hypothese bereichert, dass sich Theophilus auf die Primärerze des Rammelsbergs beziehen müsse.

Zur Überprüfung dieser Hypothese musste man die Texte des Theophilus mit den Ergebnissen der Montanarchäologie zur mittelalterlichen Kupferverhüttung vergleichen. Mit einer Grabung am Huneberg bei Bad Harzburg von 2001 bis 2004 bot sich die außerordentlich glückliche Gelegenheit, diese Hypothese anhand der archäometallurgischen Auswertung einer modernen und gut dokumentierten Ausgrabung zu überprüfen.

Der Huneberg befindet sich etwa 10 km südöstlich vom Rammelsberg in den Wäldern des Nordwestharzes. Die Grabung wurde vom Montanstützpunkt Goslar des Niedersächsischen Landesamts für Denkmalpflege unter der Leitung von Dr. Lothar Klappauf und Friedrich-Albert Linke durchgeführt. Es handelt sich um die bis dato mit Abstand größte wissenschaftliche archäologische Grabung zum Montanwesen im Harz, wobei eine Fläche von mehr 1.000 m² untersucht wurde. Der Montanstützpunkt betreibt seit mehr als 20 Jahren systematische Untersuchungen der Montangeschichte des Harzes und kennt weit mehr als 2.000 Fundstellen des Montanwesens in dieser Region. Der Huneberg stellt zwar eine Ausnahme in Bezug auf die Größe der untersuchten Fläche dar, ist aber ansonsten als typisches Beispiel eines Hüttenplatzes des Harzes im ausgehenden 12. Jahrhundert anzusehen, da sich die Befunde im Einklang mit einer ganzen Reihe mittelalterlicher Hüttenplätze befinden. Die moderne Grabungsweise, der enge Kontakt zu den Ausgräbern, die Qualität der Grabungsdokumentation und nicht zuletzt die Fülle des Fundmaterials und der archäologischen Befunde machen den Huneberg zum Musterbeispiel archäologischer Arbeit. Sie stellte von Anfang an eine ungewöhnlich tragfähige Basis für eine ausführliche archäometrische Analytik und eine nachfolgende archäometallurgische Untersuchung dar.

Die wissenschaftliche Auswertung der Grabung mit speziellem Augenmerk auf die Produktionsabläufe wurden in einer Dissertation am University College London unter der Betreuung von Thilo Rehren, im Rahmen eines Marie Curie EST Stipendiums

bearbeitet und nun vorgelegt. Die enge Zusammenarbeit mit den Ausgräbern Lothar Klappauf und Friedrich-Albert Linke sowie dem Montanhistoriker Christoph Bartels förderten von Beginn an eine starke interdisziplinäre Ausrichtung des Dissertationsvorhabens, welches letzten Endes nur durch eben diese interdisziplinäre Herangehensweise solch schöne Ergebnisse zeitigte, wie ich sie hier kurz und abstrahiert vorstellen möchte.

Fragestellungen

Als Hauptfragestellung kann sicherlich die Frage nach der Art und Weise der Metallverhüttung gelten, die sich trotz mehr als 20-jähriger intensiver und sehr verdienstvoller archäologischer Untersuchung noch immer einer präzisen Beantwortung entzog, bzw. nicht über ein bloßes Schema hinaus gelangt war. Bevor die Hypothese um das Kupferkapitel des Theophilus bestätigt oder verworfen werden konnte, mussten aber zunächst die nachfolgenden Fragen beantwortet werden. Diese sind eng mit der Charakterisierung der Funde verknüpft und wurden auf einer ersten, unmittelbaren Ebene gestellt: Welche Rohmaterialien, insbesondere welche Erze wurden verhüttet? Welches Metall wurde produziert? Wie kann man sich die Prozessführung vorstellen? Anknüpfend an diesen Fragenkreis ergeben sich zwangsläufig weitere Fragen nach den genaueren Umständen der Verhüttung: Waren Zuschläge notwendig? Wenn ja, welche waren dies? Über-

Abb. 1: Zeichnerische Rekonstruktion eines Ofens vom Riefenbach, ebenfalls ein Hüttenplatz des 12. Jahrhunderts, der nur wenige 100m vom Huneberg entfernt ist. Gut zu erkennen ist der ortsfeste Tiegel und der, eine Vertiefung im Boden überspannende Tiegelstein. Rekonstruktion und Zeichnung: Friedrich-Albert Linke



geordnete Fragestellungen, die den Fundplatz in einen überregionalen Kontext stellen, sind Sachverhalte, welche sich mit der Menge des hergestellten Metalls, der Art und Weise sowie dem Grad der Organisation des Fundplatzes im Speziellen, sowie der Hüttenplätze im Allgemeinen befassen. Kann der Fundplatz als typischer Hüttenplatz für Zeitstellung und Region eingestuft werden? Und können die Erkenntnisse, die aus diesem Fundplatz gewonnen wurden, zur Erhellung der Metallgewinnung im hohen Mittelalter insgesamt herangezogen werden?

Ebene: Wieviel Metall wurde benötigt? Welche Bedeutung für den Handel ergibt sich? War die Organisation saisonal oder kontinuierlich? Welcher Organisationsgrad liegt vor?

Neben den archäologischen und historischen Quellen wurde das Fundmaterial naturwissenschaftlich untersucht. Die Fundgattungen sind Erz, metallurgischer Stein, Schlacke, technische Keramik, z. B. Ofenfragmente sowie Bodenproben, z. B. anstehender Lehm.

Von den vielen Funden und Befunden des Fundplatzes sollen hier nur kurz die wesentlichsten genannt werden. Es handelt sich um die Fundamente von drei Schmelzöfen, die in Ost-West-Richtung orientiert am flachen Nordhang des Hunebergs standen. Wir müssen uns diese Öfen als Schachtöfen vorstellen, die über einem steinernen Fundament aus Lehm und Bruchsteinen aufgebaut waren (Abb. 1). Die Öfen besaßen eine muldenförmiges, aus Gestübelehm¹⁴ modelliertes Auffangbecken, den sogenannten Tiegel für das Schmelzgut.¹⁵ Der östliche Ofen besaß die größten Dimensionen, der mittlere und westliche Ofen waren etwas kleiner, und beide hatten die gleichen Ausmaße.

Zudem wurden direkt oberhalb des mittleren Ofens die Reste eines Doppelblasebalgs gefunden. In den lehmigen Boden waren Gerinne eingetieft, die unterhalb des Ofens begannen und dann in nördlicher Richtung hangabwärts verliefen. Diese Gerinne dienten sowohl der Luftzufuhr als auch als Schlackenabstich (Abb. 2).

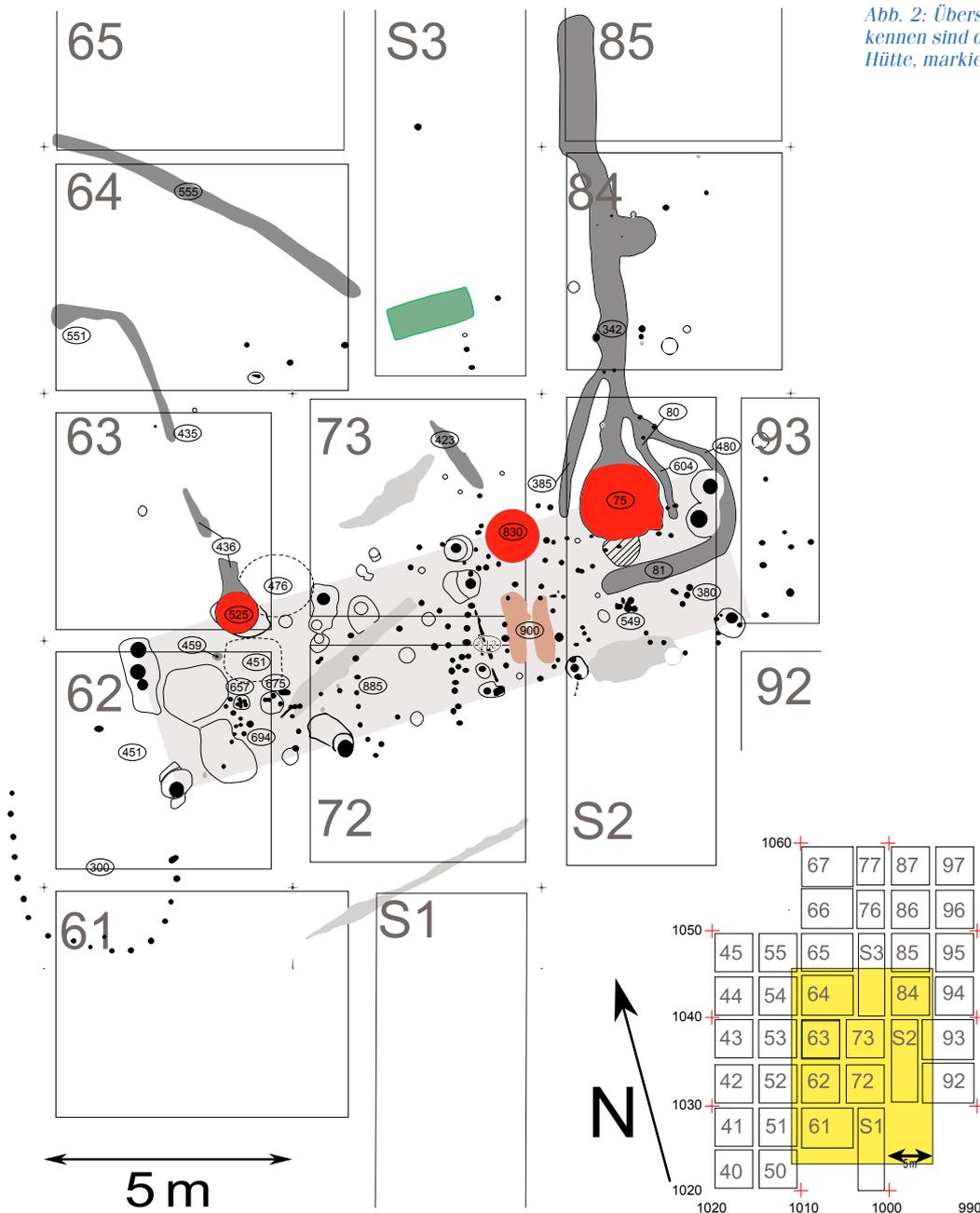
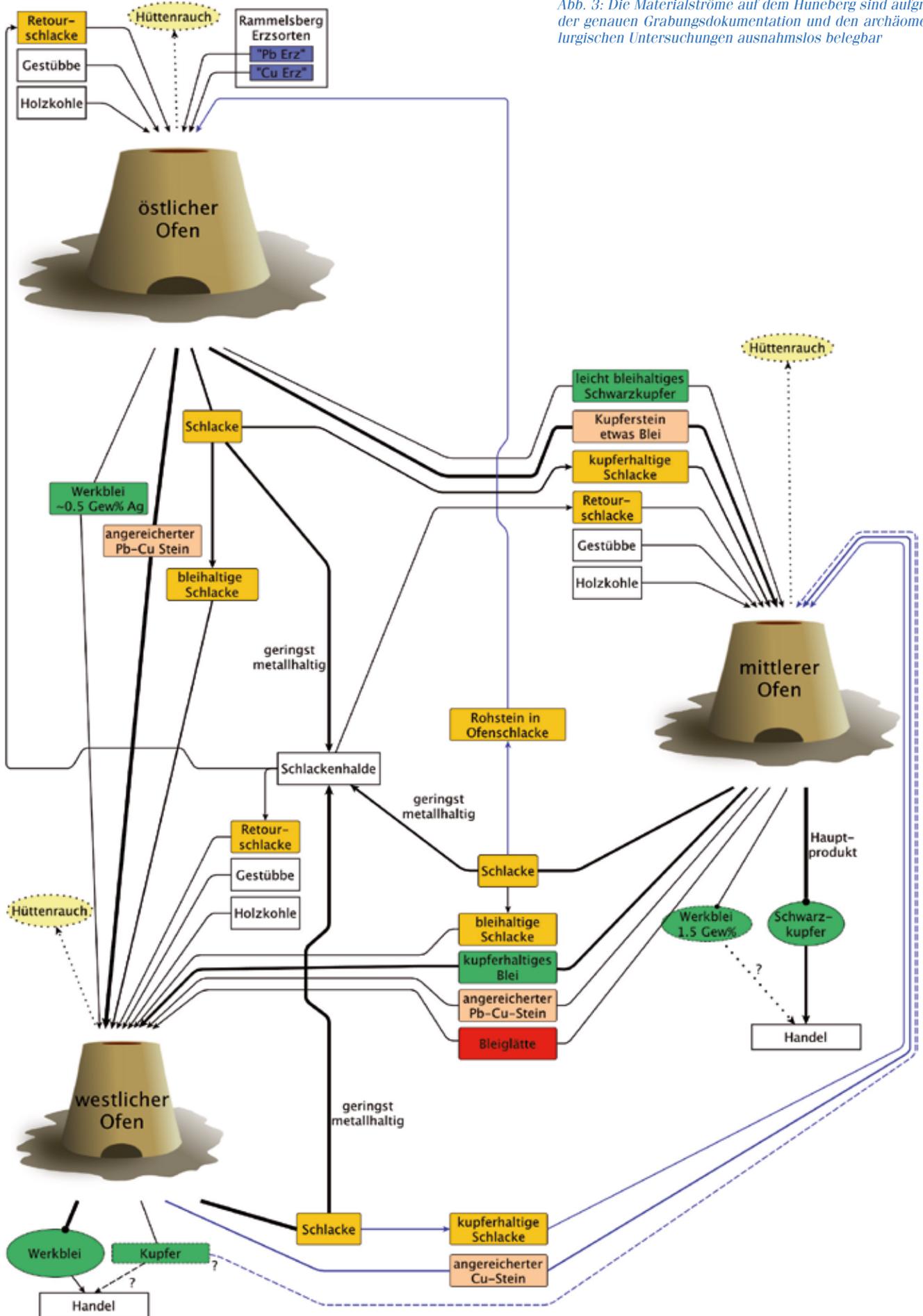


Abb. 3: Die Materialströme auf dem Huneberg sind aufgrund der genauen Grabungsdokumentation und den archäometallurgischen Untersuchungen ausnahmslos belegbar



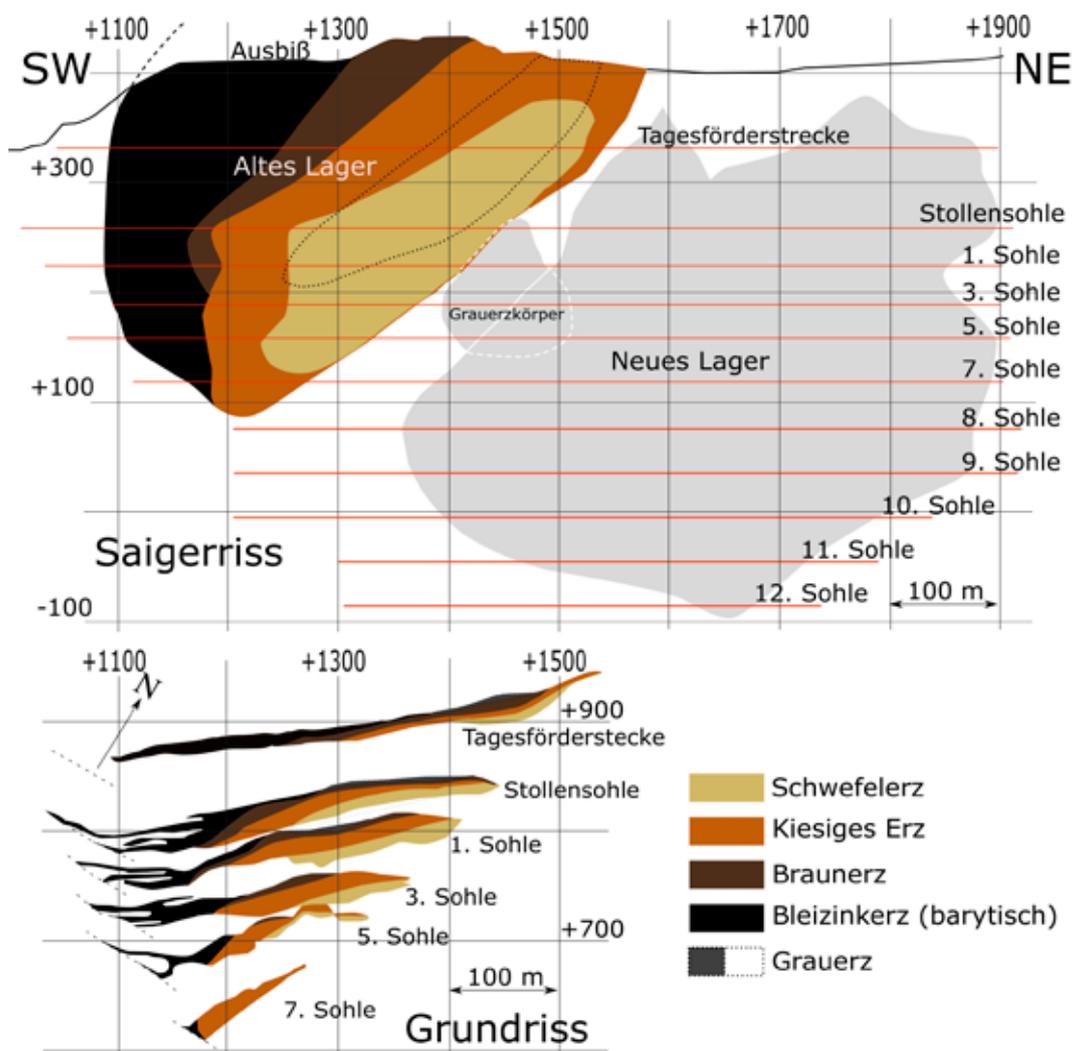


Abb. 4: Saigerriss und Grundrisse auf Höhe der Sohlen der Rammelsberg Lagerstätte. Projektion der Erzkörper von SO. Neues Lager und Grauerzkörper sind eingezeichnet, für die vorliegende Untersuchung aber nicht von Belang

Einer makroskopischen Charakterisierung folgte die Präparation der Proben für die Polarisationsauflichtmikroskopie zur petrographisch/mineralogischen Beschreibung, für die Rasterelektronenmikroskopie (REM-EDX) zur halbquantitativen chemischen Bestimmung, für die Elektronenstrahlmikrosonde (EMS-WDS) zur vollquantitativen chemischen Untersuchung, für die Röntgenfluoreszenzanalyse ((P)-RFA) zur pauschalchemischen Analyse und für die Bleiisotopenanalyse zur Herkunftsbestimmung. Ebene: Welche Erze? Welche(s) Metall(e)? Welche Art und Weise der Prozessführung? Welche Rohmaterialien?

Funde und Methoden

Welche Erze wurden verwendet?

Eine zentrale Frage war die der Erzherkunft, die auf drei Ebenen angegangen wurde: Erstens auf der Ebene der gemachten Funde, zweitens der chemischen Analyse der Schlacken und Metalle und drittens mit Hilfe der Bleiisotopenanalyse. Es stellte sich insbesondere die Frage, inwiefern Rammelsbergerz oder die Erze der Oberharzer Gänge Eingang in den Schmelzprozess fanden, da sich der Huneberg in etwa gleicher Entfernung zu diesen beiden Erzrevieren befindet.

Die enorme Bedeutung des Rammelsbergs liegt zum einen in der Dimension seiner Metallvorkommen und der Hältigkeit seiner Erze begründet (Abb. 4). Der Rammelsberg galt mit 27-30.000.000 t Reicherz als eine der ergiebigsten Metallagerstätten der Welt!¹⁶ Zu der enormen Menge an Erzen trat noch der extrem hohe, bis zu 27 Gewichtsprozent+ modern nutzbare Metallinhalt der Erze hinzu, was den Rammelsberger Erzen eine absolute Sonderrolle unter den modern verwendeten Erzen einbrachte. Zum anderen ist der kontinuierliche Abbau von Erzen am Rammelsberg von beachtlicher Dauer. Schriftquellen lassen auf eine mehr als 1000-jährige Abbautätigkeit schließen¹⁷, naturwissenschaftlich-archäologische Untersuchungen verlegen den Beginn bis dato auf das 3./4. nachchristliche Jahrhundert¹⁸ und neueste Bleiisotopenuntersuchungen legen sogar eine Nutzung der Erze in der Bronzezeit nahe.¹⁹

Bereits im 16. Jahrhundert hatte der berühmte Lazarus Ercker große Probleme, das Rammelsbergerz auf Kupfer zu verhütten²⁰, was freilich nicht an dessen Fähigkeiten, sondern vielmehr an der heterogenen Zusammensetzung der Rammelsberger Lagerstätte lag. Durch den selektiven hochmittelalterlichen Bergbau (Abb. 5) war das Kupfererz (Abb. 6 und 7) in den technisch zugänglichen Anteilen der Lagerstätte zu Erckers Zeiten bereits weitestgehend erschöpft.

Die Erze des Rammelsbergs sind sedimentären Ursprungs und wurden im Mitteldevon, also vor etwa 450 Millionen Jahren, am



Abb. 5: Im Rathstiefsten Stollen des Rammelsberges. Dieser Stollen wurde um 1150 begonnen. Die Wände sind durch oxidische Metallverbindungen bunt verfärbt

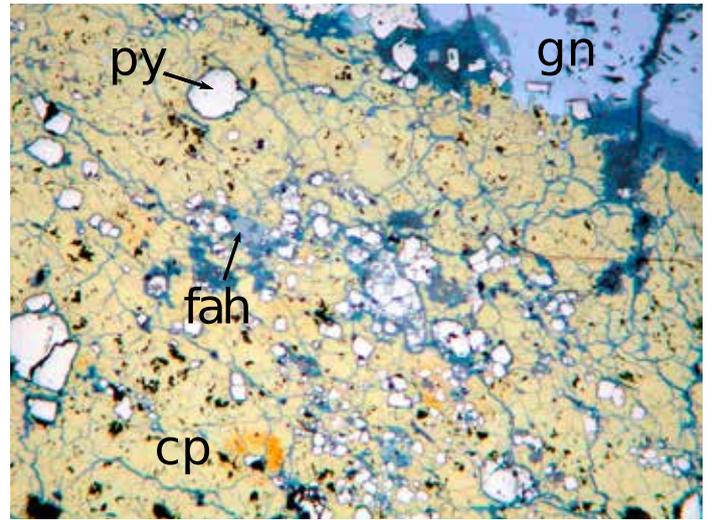


Abb. 7: Mikrographie einer Kupfererzprobe von der Grabung am Huneberg. Probe #116, Fundnr. 75, aus der Vorratsgrube im Schnitt 52: Bildbreite 1 mm, linear polarisiertes Auflicht. Zu sehen sind Kupferkies (cp), und Bleiglanz (gn), sowie untergeordnet das Fahlerz Tetrahedrit (fah) und Pyrit (py). Nicht gekennzeichnet sind Zinkblende (dunkelgrau) und Covellin der als blaue Adern den Kupferkies durchzieht

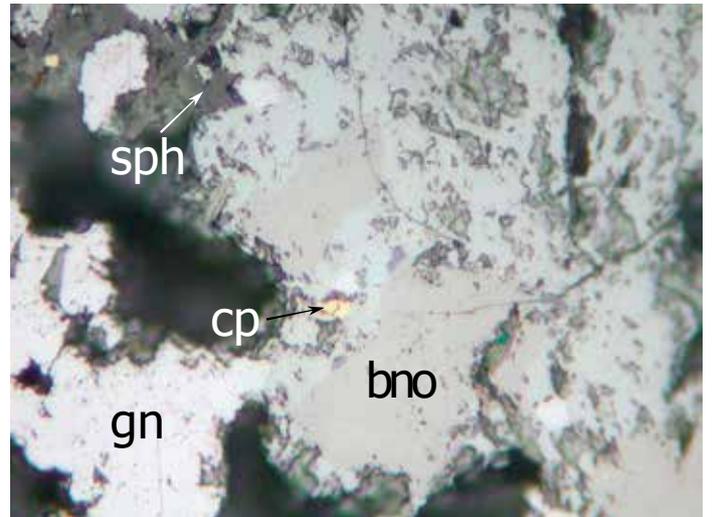


Abb. 8: Erzprobe #93, FundNr. 2884. Bleireiches Rammelsbergerz. Bildbreite 200 µm, linear polarisiertes Auflicht. Zu sehen sind Bleiglanz (gn), das Fahlerz Bournonit (bn), ein wenig Kupferkies und Zinkblende (sph). Gut erkennbar ist der feinkristalline Charakter und die enge Verwachsung der Erzbestandteile. Eine manuelle Klaubung der Erze ist nicht möglich

Abb. 6: Faustgroße Kupferkiesbrocken aus den Stollen des 12. Jahrhunderts im östlichen Teil des Alten Lagers belegen die Existenz reicher Kupfererze



Grunde eines Meeres abgelagert. Es entstand eine Lagerstätte vom SEDEX Typ²¹, wobei die gleichzeitige Ausfällung erzeicher Erzschlämme und die Ablagerung anderer Sedimente zu den typischen gebänderten Erzen des Rammelsbergs führten.²² Die Erze sind feinkristallin und kommen in inniger Verwachsung mit dem Nebengestein, dem Wissenbacher Schiefer vor. Eine Grobkläubung, d. h. eine Trennung von Erzen und Nebengestein sowie nicht verwertbaren Mineralbestandteilen ist somit nicht möglich (Abb. 8). Wichtige Erzminerale für das Hochmittelalter sind Kupferkies, Bleiglanz und das Fahlerz Tetraedrit (Abb. 7 und 8). Die Erze des Oberharzer Erzreviers sind hydrothermalen Ursprungs und als solche grobkristallin. Die genauen Umstände der Lagerstättenbildung sind derzeit noch immer Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion, es dürfte aber unzweifelhaft sein, dass sich die Hauptlagerstättenbildung vor etwa 200 Millionen

Jahren am Übergang zwischen Trias und Jura zugetragen hat.²³ Die Erze sind polymetallischer Natur und weisen einige wichtige Erzminerale auf, die auch in den Rammelsberger Erzen vorkommen. Im Laufe der Dissertation konnte nur durch die Kombination der Erkenntnisse aus archäologischem Fundmaterial und Kontext, erzpetrographisch-mineralogischer Untersuchung und chemisch-naturwissenschaftlicher Analyse geklärt werden, dass es sich bei den Erzen, die auf dem Fundplatz verarbeitet wurden, mit größter Wahrscheinlichkeit ausschließlich um die Erze des Rammelsbergs gehandelt hat.²⁴

Schlacken

Am Huneberg wurden genau 1.604 kg Schlacke geborgen. Die Schlacken als Abfall- und Zwischenprodukte der Metallverhüttung kann man als „Fahrtenschreiber“ der Verhüttungsprozesse betrachten (Abb. 9). In den Phasen²⁵ der Schlacken sind unter anderem Prozessparameter wie Temperatur, Schmelzzusammensetzung oder Sauerstoffugazität gespeichert. Es oblag dem Bearbeiter, diese Prozessparameter zu dokumentieren, zu analysieren und zu interpretieren. Im Zusammenspiel mit den Befunden aus Grabung und geschichtlicher Überlieferung können die Resultate der naturwissenschaftlichen Untersuchungen als eigenständige Quelle herangezogen werden. Da Naturgesetze durch alle Zeiten ihre Gültigkeit behalten, erlaubt die Schlackenanalyse einen sehr direkten Einblick in Arbeitsprozesse unserer Altvorderen.

Abb. 9: Einige Schlacken der mittelalterlichen Kupferverhüttung am Huneberg



Die Schlacken bestehen vorwiegend aus komplett aufgeschmolzenen Fließschlacken[,] die im flüssigen Zustand eine sehr niedrige Viskosität aufweisen. Alle Phasen sind aus der Schmelze erstarrt (Abb. 10). Es gibt kaum Hinweise auf nicht aufgeschmolzene Chargenbestandteile, die als Relikte in der Schlacke vorhanden waren. Die im Allgemeinen vorhandene Zusammensetzung der Phasen lässt auf eine unterkieselte Schmelze schließen: Willemit Zn_2SiO_4 , Fayalit Fe_2SiO_4 , Franklinit $(Zn,Fe,Mn)(Fe,Mn)_2O_4$ und Gahnit $ZnAl_2O_4$ gehören zu den omnipräsenten Phasen. Allen Phasen²⁶ der Schlacke ist der hohe Anteil an Zinkverbindungen gemein. In den Schlacke mit erhöhten Bleiwerten kommen zusätzlich Bariumsilikatverbindungen wie Andremerit $(BaFe)(Fe,Zn,Mn,Mg)^{2+}Si_2O_7$ vor.

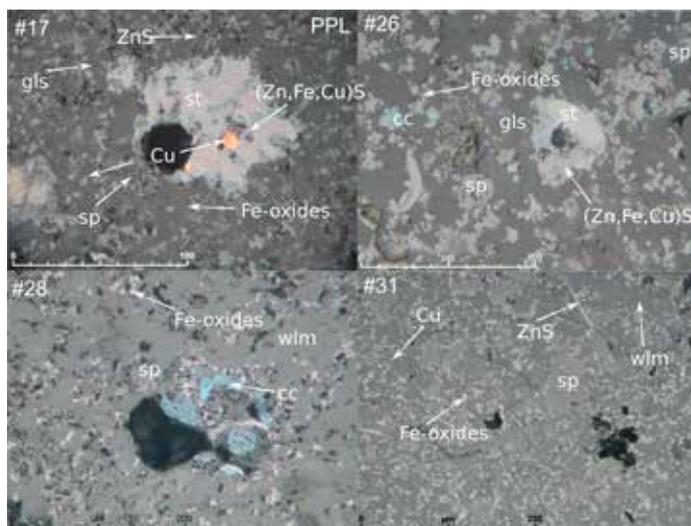


Abb. 10: Schlacken des mittleren Ofens. Befunde 500, 512, 870 und 873. Linear polarisiertes Auflicht. Oben links: Probe #17, Fundnr. 3235, Befund 500. Dies ist eine typische Schlacke für den mittleren Ofen: In einer glasigen Matrix (gls) liegen kleine Tropfen Mittelstein (st) vor, bestehend aus einer Bornit-Chalkosin Mischung. Daneben liegt eine Zinksulfidphase (ZnS), kleinste Kupfertröpfchen (Cu), Spinelle (sp), freie Eisenoxide (Fe-oxides) vor. Die mittlere Größe der Phasen ist mit 10 µm als klein zu bezeichnen.

Oben rechts: Probe #26, Fundnr. 3537, Befund 870: Diese Probe ist mit Probe #17 nahezu identisch, weist aber auch noch Chalkosin Einschlüsse auf. Die Ausdehnung der Phasen ist mit einem Mittel von 20 µm ein wenig größer.

Unten links: Probe #28, Fundnr. 3532, Befund 512: Diese Probe besteht zu großen Teilen aus Willemit (wlm), dazwischen befinden sich freie Eisenoxide und Spinelle (sp). Untergeordnet findet sich ein wenig Chalkosin (cc). Mit einer mittleren Ausdehnung der Phasen von 50 µm sind die Phase erheblich größer als in den anderen Proben, was auf eine längere Abkühlungsphase deutet.

Unten rechts: Probe #31, Fundnr. 3626, Befund 873: Ähnlich den Proben #17, und #26, aber mit weniger Steineinschlüssen, dafür mehr und größere Spinelle. Außerdem kleinste Kupfertröpfchen.

Die Schlacken sind außerordentlich uniform, und sie können als feinkristalline Fließschlacken bezeichnet werden, die auf eine große Erfahrung der Schmelzer in der Prozesssteuerung hinweisen. Sie enthalten kaum noch Metalle, was darauf hindeutet, dass der Verhüttungsprozess und die Kupfererzeugung gegen Ende des 12. Jahrhunderts sehr gut verstanden wurden.

Steine

Metallurgische Steine, die als Zwischenprodukte zwischen Erz und Metall anzusehen sind, konnten am Huneberg nur als Einschluss in den Schlacken identifiziert werden (Abb. 11). Man unterscheidet gemeinhin die Steine anhand ihres Metallgehalts in folgende Kategorien:

Rohstein	mehr Eisen als Kupfer (Kupferkies und Bornit)
Konzentrationsstein	mehr Kupfer als Eisen (Bornit und Chalkosin)
Spurstein	mehr oder weniger eisenfrei (Digenit und Chalkosin)

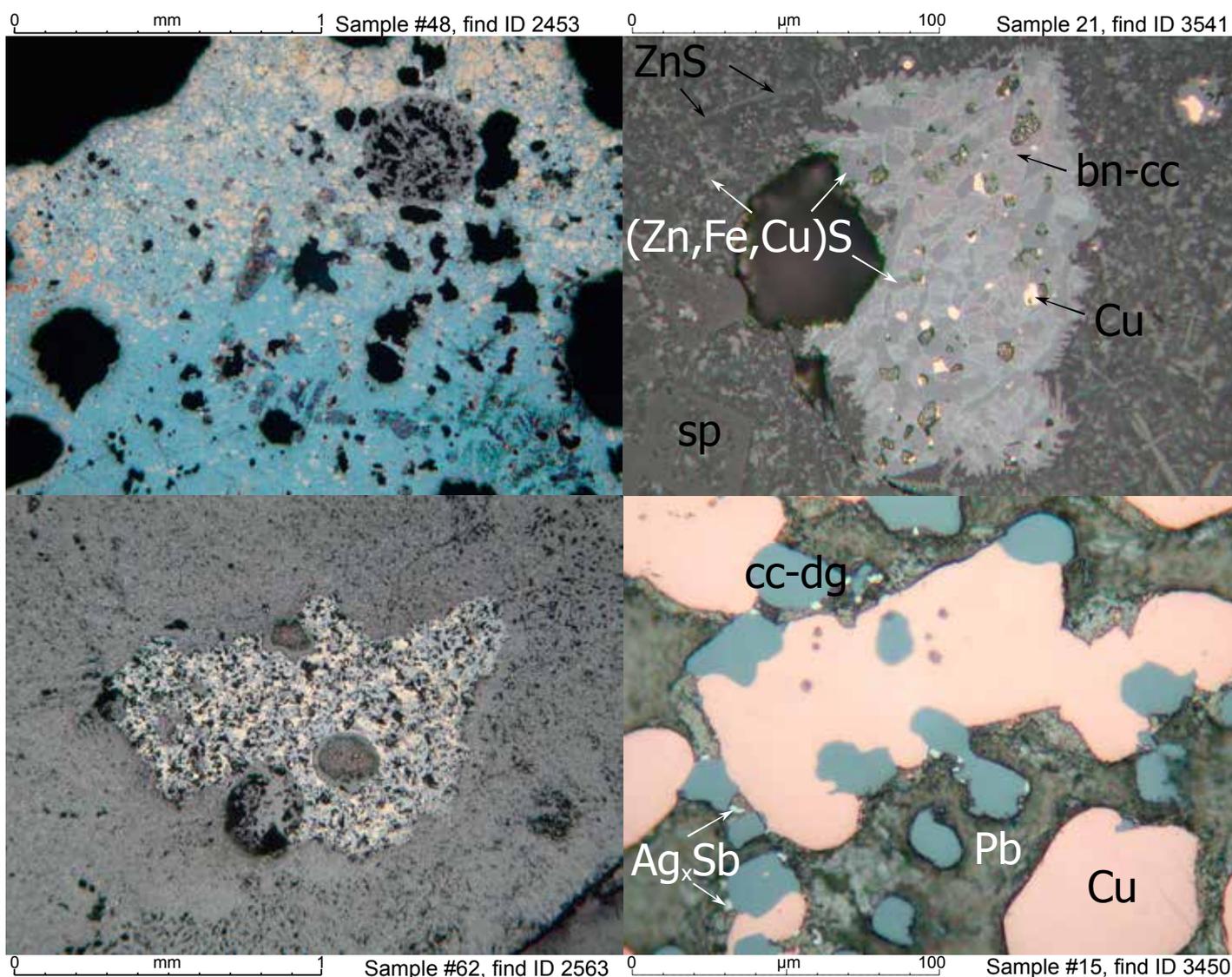


Abb. 11: Stein kam ausschließlich als Einschluss in der Schlacke vor. Stein kommt normalerweise als Zwischenprodukt bei der Sulfidzerhüttung als Kupfer-Eisen-Schwefel oder Kupfer-Schwefelverbindung vor. Am Huneberg ist das Eisen – Kupfer – Schwefel System um Zink erweitert, was der großen Menge an Zinkblende im Erz zuzuschreiben ist. Zusammen mit Metall (Probe #15) kommen nur Kupfersulfide, aber keine Kupfer-Eisen-Zinksulfide vor

Größere Steinstücke kamen am Fundplatz nicht vor, was bei einem wertvollen Zwischenprodukt auch nicht zu erwarten ist. Die Steine nehmen in der Rekonstruktion der Prozesse am Huneberg dennoch eine Sonderrolle ein, da diese einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Verhüttungstechnologie lieferten, denn die Natur der Steineinschlüsse in den Schlacken konnte als charakteristischer Prozessmarker identifiziert werden. Im Zusammenhang mit der präzisen archäologischen Dokumentation erlaubte dies zum einen eine Ansprache der Schlacken als Roh-, Zwischen- oder Abfallprodukt, zum anderen konnten die Schlacken entweder dem Kupferkreislauf oder dem Blei/Silberkreislauf zugeschrieben werden.

Welche Metalle?

Neben der Frage nach den Rohmaterialien konnte die Frage nach den hergestellten Metallen scheinbar sehr einfach beantwortet werden. Im Fundgut befanden sich Tropfen von Kupfer und Blei

sowie Legierungen aus beiden Metallen. Silber wurde im Laufe einer genaueren mikroskopischen Untersuchung auch entdeckt und zwar sowohl in Blei als auch in Kupferproben, sodass neben der Blei- und Kupferproduktion zunächst auch noch eine Silberproduktion in Betracht gezogen werden musste.

Prozessrekonstruktion

Die vorgeschlagene Prozessrekonstruktion ist das Ergebnis einer Synthese der naturwissenschaftlichen Untersuchung und der archäologischen Fundumstände. Theoretisch ist dies eine zu erwartende Vorgehensweise. In der Praxis werden allerdings die naturwissenschaftlichen Untersuchungen oft von den archäologischen Untersuchungen abgekoppelt vorgenommen, sei es, weil die Fundsituation nicht oder nur unzureichend dokumentiert werden konnte, sei es, weil der naturwissenschaftliche Bearbeiter nicht, oder nur unzureichend archäologisch geschult ist, sei es, weil der Archäologe mit der naturwissenschaftlichen Bearbeitung überlastet ist. Fakt ist, dass archäologische Auswertung und

Fachuntersuchung oft nebeneinander und mit nur wenigen interdisziplinären Verknüpfungen vorgelegt werden.

In der vorliegenden Dissertation wurde ein spezielles Augenmerk auf die Verknüpfung der Fundumstände sowie deren Verortung und Verknüpfung mit den Ergebnissen der naturwissenschaftlichen Untersuchungen gelegt. Es hatte sich herausgestellt, dass die naturwissenschaftlichen Ergebnisse alleine in ihrer Aussagefähigkeit so ambivalent waren, dass eine Rekonstruktion der Prozesse nicht eindeutig möglich war. Erst durch die akribische Verknüpfung der beiden Quellenebenen konnte eine archäologisch relevante und technologisch tragfähige Prozessrekonstruktion erarbeitet werden.

Schon während der Ausgrabungen wurde ein gut organisierter Platz ersichtlich, der es dem erfahrenen Ausgräber erlaubte, u. a. Arbeitsplattformen und Gichtbühnen auszumachen.

Diese ersten Ansprachen konnten durch die nachfolgenden naturwissenschaftlichen Untersuchungen der Funde bestätigt und zum Teil erstmalig deutlich präzisiert werden, was das eigentliche Novum dieser Auswertung darstellt. Ich möchte zunächst jedoch die Organisation des Fundplatzes skizzieren:

Der Arbeitsbereich am Ofen lässt sich am einfachsten in hinter dem Ofen, d. h. der Gichtbühne, und unter dem Ofen, also in der Nähe des Abstichs, beschreiben. An diesem Fundort ist hinter dem Ofen gleichbedeutend mit oberhalb vom Ofen, da sich die gesamte Anlage an einem Hang mit nördlicher Ausrichtung befindet. Unterhalb vom Ofen ist demzufolge der Abstich zu vermuten, da die Produkte des Ofens im Abstichkanal hangabwärts fließen sollen. Verwirrend war zunächst, dass sich Neben-, Zwischen- und Abfallprodukte sowie Hauptprodukte sowohl unterhalb als auch oberhalb der Öfen fanden.

Das Schaubild (Abb. 3) gibt den Fundort schematisch wider. Zu sehen sind dort die drei Schmelzöfen, die durch eine Reihe von Pfeilen miteinander verbunden sind. In der Darstellung wurde folgende Konvention eingehalten: Pfeile entspringen dem Abstich der Öfen und enden über dem Kamin der Öfen, da die Pfeile Materialströme darstellen.

Diese Konvention ist der Fundsituation an den Öfen und der genauen Analyse und Rekonstruktion der Organisation des Arbeitsplatzes geschuldet.

Diese Ströme basieren auf der Analyse von Materialeigenschaften der Funde einerseits und deren genauem Fundort andererseits. Wenn also ein Pfeil mit der Bezeichnung Ofenschlacke vom mittleren zum östlichen Ofen weist, so bedeutet das zum einen, dass sowohl am östlichen als auch am mittleren Ofen mikroskopisch, makroskopisch und chemisch gleichartiges Fundmaterial gefunden wurde. Die Richtung der Materialströme ließ sich zum anderen durch die genaue Position am Ofen festlegen. Die eigentlichen Produkte der Öfen konnten selbstverständlich nur in kleinen und kleinsten Mengen an diesen Stellen gefunden werden, da diese im Regelfall von den Handwerkern abtransportiert worden sein dürften.

Der Prozess lässt sich grob in drei verschiedene Kreisläufe einteilen, wobei deren Begleitprodukte mehrmals an unterschiedlichen Kreisläufen teilnehmen konnten:

1. Rohschmelzen
2. Kupferkreislauf
3. Bleikreislauf

Einer Kupferanreicherung oder dem Roh- und Konzentrationsschmelzen folgte das Kupferschmelzen bzw. ein Abstich des Kupfers nebst Begleitprodukten. Analog verhält es sich mit dem Blei. Soweit ist diese Interpretation ein Schema, das u. a. auch

schon von Bachmann postuliert wurde.²⁷ Im Gegensatz zu Bachmanns Postulat können wir aber nun – und das ist das absolut Neuartige an diesem Ergebnis – die Materialströme ganz genau belegen. Es ist nun nicht mehr nötig anzunehmen, dass Materialien aus Ofen A in Ofen B recycelt wurden, wir können es nun direkt belegen. Dies war nur durch den akribischen Abgleich zwischen archäologischem Fundkontext und genauester archäometallurgischer Analyse der Fundstücke möglich.

Roh- und Konzentrationsschmelzen – der östliche Ofen

Dieser Ofen stellt den Ausgangspunkt der Verhüttung dar. In diesem Ofen wurden Erze, Retourschlacke und Holzkohle als Ofencharge verwendet. Maßgeblich an den Prozessen im Ofen beteiligt ist auch die abbrennende Ofenkeramik bzw. das Gestübbe, welches Einfluss auf die Eigenschaften der Schlacke hatte. Der Ofen kann auch deshalb als Rohschmelzofen angesprochen werden, weil er chemisch gesehen die größte Variabilität an Schlacken, Steinen und Metallen produzierte. Dieser Befund wird dadurch unterstützt, dass die Steineinschlüsse hier die größten Dimensionen aufweisen und prozesstechnisch alle Anreicherungsstufen von Roh-, über Konzentrations- bis hin zum Spurstein identifiziert werden konnten.

Da die Erze des Rammelsbergs nur sehr grob in Erzsornten sortiert, aber nicht geklaubt²⁸ werden konnten, wurde der Ofen mit Erzen beschickt, die sowohl Blei- als auch Kupfererz enthielten.²⁹ Die Erze waren nicht vorher geröstet worden, zumindest wurde kein dahingehender Hinweis gefunden. Daneben enthielt das Erz auch noch große Mengen Zinkblende, welche ab dem 18. Jahrhundert als Zinkerz, im hohen Mittelalter jedoch noch als taubes Material angesehen wurde, das bestenfalls als Flussmittel fungiert haben mag.

Neben den rein chemischen Prozessen, die es zu verstehen und zu rekonstruieren galt, spielten auch prozesstechnische Überlegungen eine wichtige Rolle: Als Beispiel soll hier der Zusatz von Retourschlacke zur Ofencharge genutzt werden, um die Relevanz derartiger Überlegungen zu untermauern. Die Problemstellung lautet hier: Quarzkörner aus Siliziumdioxid (SiO_2) und Eisenoxid (FeO) aus den oxidierten Erzen ergeben nach der chemischen Gleichung Fayalit (Fe_2SiO_4), den Hauptbestandteil der Verhüttungsschlacke: $2\text{FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{SiO}_4$.

Allerdings kann dies nur geschehen, wenn die zwei Reaktanden im Ofen auch die Möglichkeit haben, sich im Ofen zu berühren. Man stelle sich hier den Ofen und eine Beschickung aus Holzkohle, Erzen und Quarzsand vor. Der Quarzsand rieselt durch die viel größeren Holzkohlen und Erzbröckchen nach unten hindurch. Eine Reaktion kann nicht stattfinden, da einer der Reaktanden nicht für die Reaktion vorhanden ist. Die Retourschlacke löst dieses Problem auf elegante Weise, denn sie bildet das Medium, in dem die Reaktionen des Verhüttungsprozesses ablaufen. Sie ist zudem massenhaft vorhanden, grobstückig genug, und sie besitzt eine weitaus niedrigere Schmelztemperatur als beispielsweise Quarz. Das Recycling dieses Schlackenmaterials brachte also beachtliche prozesstechnische Vorteile.

Während der Ofenreise lief im Ofeninneren eine Vielzahl von chemischen Prozessen ab, die selbstverständlich nicht in allen Bereichen des Ofens dieselben waren. In der Nähe der Lufteintrittsöffnungen war beispielsweise mehr Sauerstoff vorhanden als im oberen Teil des beschickten Ofens, was zu unterschiedlichen chemischen Reaktionen führte. In oxidierenden Bereichen

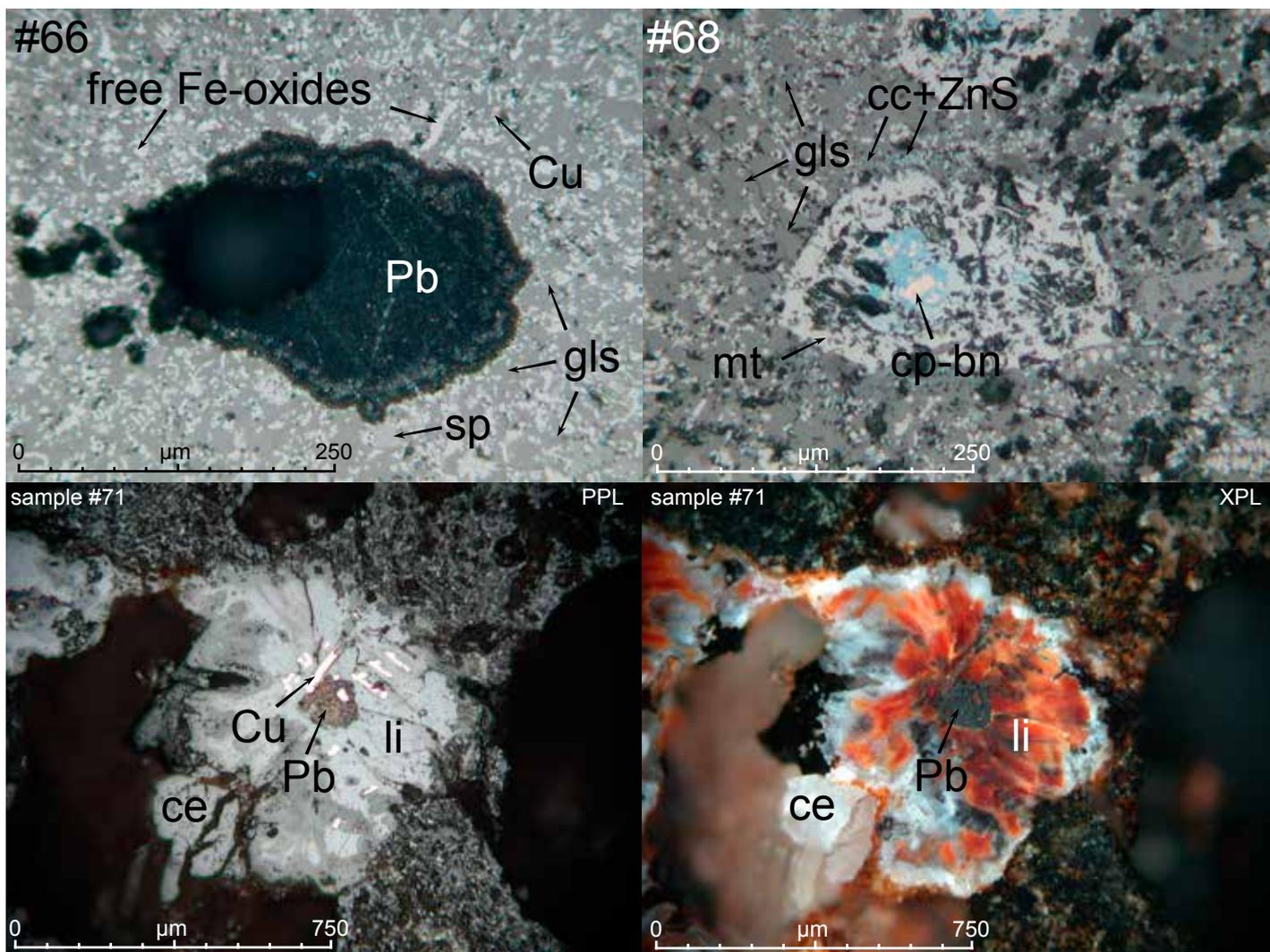


Abb. 12: Östlicher Ofen, Proben #66, #68 und #71, Fundnummer 2618, Befund 480, Äußerer Abstichkanal. Diese Proben zeigen Einschlüsse von metallischem Blei, bzw. von Rohstein (Probe #68), und unterscheiden sich damit vom Phasenbestand der Proben aus dem inneren Abstichkanal. Die silikatischen Phasen, wie Willemit (wlm), Zinksulfid (Zns), Spinellen (sp) unterscheiden sich kaum, aber die Steine sind erheblich weniger stark mit Kupfer angereichert

des Ofens wird es zu einer starken Verbrennung von Schwefel aus den schwefelhaltigen Erzen gekommen sein. Gasförmiges Schwefeldioxid entstand und entwich mit den anderen Abgasen, die wir als Hüttenrauch bezeichnen. Im Hüttenrauch befanden sich aber auch noch andere flüchtige Bestandteile, wie z. B. die Oxide von Arsen und Antimon aus den Erzen, Kaliumoxide aus der Holzkohle oder aber auch metallische Flugfunken, die in Folge starker thermischer Vorgänge aus dem Ofeninneren gerissen wurden. Im oberen Bereich wurden die Steine aufgeschmolzen und sackten oder tropften langsam durch die Ofencharge nach unten in das Schmelzbad. Es konnte zusätzlich gezeigt werden, dass am Huneberg durch die den Schmelzpunkt senkende Wirkung der Holzkohlenasche größere Mengen an Gesteinsschmelze schmolzen und wesentlichen Einfluss auf die Schlackenchemie ausübten. Es konnte zudem gezeigt werden, dass die Siliziumdioxidbestandteile der Schlacke mit hoher Wahrscheinlichkeit aus dem mit Quarzsand gemagerten Gesteinsschmelze stammten.

Als eine der wichtigsten Erkenntnisse an diesem Ofen darf angesehen werden, dass hier ganz offenbar die Schmelze des Rohschmelzens in zwei parallele Prozesszyklen aufgespalten wurde, d. h., dass sowohl die blei- als auch die kupferreiche Charge aus ein und demselben Schmelzprozess abgestochen wurden: Der Ofen verfügte über zwei voneinander getrennte Abstichkanäle (Abb. 2), in denen signifikant unterschiedliche Materialien gefunden wurden. In einem äußeren Kanal (Befund 480) wurden Schlacken und Steine gefunden die auf Bleimetallurgie (Abb. 12), im parallel dazu verlaufenden inneren Kanal (Befund 604) solche Materialien, die auf Kupfermetallurgie schließen lassen (Abb. 13). Selbstverständlich sind die Schlacken, Steine und vereinzelt Metalle, die dort produziert wurden, nur als Zwischenprodukte anzusprechen, die noch im mittleren und westlichen Ofen weiterverarbeitet werden mussten. Die Anreicherung kupferreicher Phasen in den Produkten des einen Kanals und die Anreicherung der bleireichen Phasen in den Produkten des anderen Kanal sind eindeutig nachzuweisen.

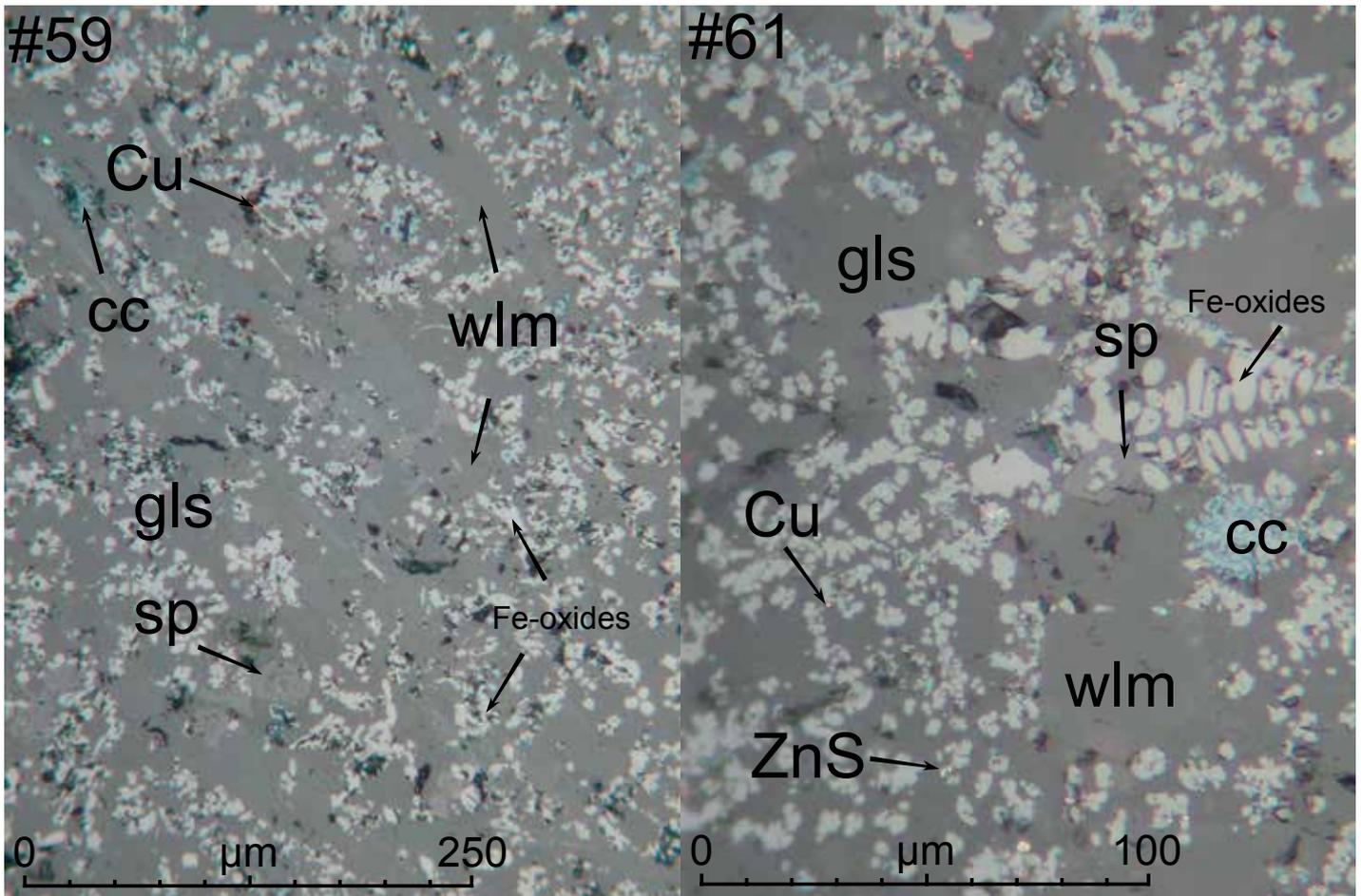
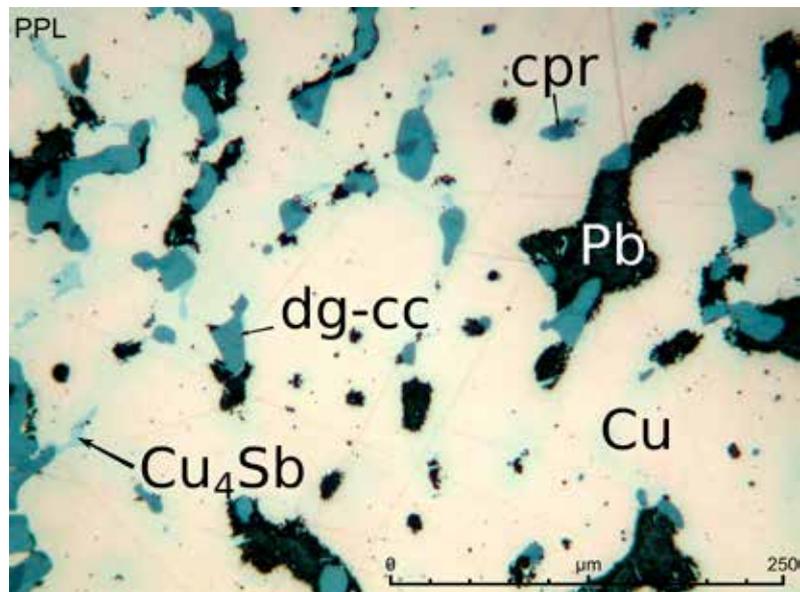


Abb. 13: Proben #59 und #61, Fundnr. 2541, Befund 604. Östlicher Ofen. Typische Kupferverhüttungsschlacken. Diese wurden im inneren Abstichkanal (Befund 604) gefunden und zeigen Relikte der Kupferverhüttung: kleinste Kupfertröpfchen (Cu), und Einschlüsse von Kupferstein (cc), daneben sieht man die für den Huneberg typischen Schlackenphasen: In einer glasigen Matrix finden sich Willemit (wlm), Zinksulfid (ZnS), Spinelle (sp), sowie freie Eisenoxide

Im Zentrum des Kupferkreislaufs – der mittlere Ofen

Im inneren Abstichkanal des Rohschmelzofens wurden Kupfer-Bleisteine in verschiedenen Anreicherungsstufen produziert. Diese dürften die bevorzugte Charge dargestellt haben. Jedoch ließ es die Natur der Rammelsbergerze nicht zu, sortenreine Kupfersteine herzustellen. Deswegen dürften in den Ofen zusätzlich folgende Materialien gelangt sein: sehr stark verunreinigtes, bleihaltiges Schwarzkupfer³⁰, kupferhaltige Schlacke³¹, je nach Bedarf Retourschlacke und Holzkohle. Daneben konnte gezeigt werden, dass Materialien, welche am westlichen Ofen entstanden, wenn diese denn kupferhaltig waren, auch am mittleren Ofen Eingang in die Ofencharge fanden. Zu nennen wären hier in erster Linie die Schlacken und Steine, die im westlichen Ofen als Nebenprodukt angefallen sein dürften. Einfluss auf die Chemie nahm hier natürlich der ebenfalls abschmelzende Gestübbelehm. Das Hauptprodukt dieses Ofens war Schwarzkupfer (Abb. 14), wobei auch eine Reihe von Nebenprodukten angefallen ist, die je nach ihrer chemischen Beschaffenheit, d. h. ihrem Gehalt an Blei- oder Kupferprodukten, den Prozessschritten des Rohschmelzens, des erneuten Kupferschmelzens oder des Bleischmelzens zugeführt wurden. Die Abbildung 2 vermittelt einen Eindruck der aus diesem Arbeitsschritt resultierenden Nebenprodukte, die auf der Grabung nachgewiesen werden konnten: Funde von vorwiegend bleihaltigen Zwischenprodukten, wie etwa metallisches

Abb.14: Kupferprobe des mittleren Ofens, Probe #10, Fundnr. 3432. Die Mikrographie zeigt dendritisches α -Kupfer mit Kupfersulfideinschlüssen (dg-cc), die aus entmischtem Chalkosin-Digenit bestehen, sowie einigen Cupriteinschlüssen (cpr), die hier wahrscheinlich nicht als Korrosionsphasen anzusprechen sein dürften. Daneben treten Speisephase, auf die als Kupferantimonide anzusprechen sind (Cu_4Sb), die ihren Ursprung in den antimonhaltigen Fahlerzen haben. Blei ist interdendritisch vorhanden.



Blei mit Kupferbeimengungen, Blei-Kupfersteine oder bleihaltige Schlacken wurden sowohl unterhalb des mittleren Ofens als auch auf der Gichtbühne des westlichen Ofens aufgefunden. Dies führt zu dem zwingenden Schluss, dass die Zwischenprodukte des mittleren Ofens erneut Eingang in den Schmelz Kreislauf, nun aber am westlichen Ofen, fanden. Daneben fand sich auch ein Brocken Ofenschlacke, der größere Mengen an Kupferrohstein enthielt, wie dieser auch auf der Gichtbühne des östlichen Ofens ausgegraben wurde. Auch hier liegt ein erneutes Einsetzen und Konzentrieren des Steins im östlichen Ofen nahe. Der mittlere Ofen wurde oxidierender gefahren als sowohl der Rohschmelz- wie auch der Bleischmelzofen. Dies kann an einigen Schlackenphasen festgemacht werden, die am mittleren Ofen vermehrt auftreten. Zudem lassen sich durch die stärker oxidierende Schmelzbehandlung die Bleiglättefunde erklären, die innerhalb dieses Ofens aufgefunden wurden. Die enorm hohen Silbergehalte dürften weniger auf eine ausgefeilte Silberanreicherungstechnologie als vielmehr auf eine unter Umständen sehr lange zufällige thermische Behandlung hin deuten: Die Funde sind aus dem Tiegel herausgetropfte Bleitropfchen, die für eine unbekannte Zeitspanne direkt unter dem Ofen verweilten und erst bei der Grabung geborgen werden konnten. Bleiglättefunde wurden sonst nur noch auf der Gichtbühne des westlichen Ofens gemacht. Die Diskussion, ob es sich um einen irgendwie gearteten Vorläufer des Seigerhüttenverfahrens³² handelt, ist weiter unten nachzulesen.

Im Zentrum des Bleikreislaufs – der westliche Ofen

Am westlichen Ofen wurde Blei, genauer gesagt wurde Werkblei hergestellt. Die Rohmaterialien, die in den Ofen als Charge eingesetzt wurden, entstammten zum einen dem östlichen, dem Rohschmelzofen, der die größte Menge an bleireichen Materialien produziert haben dürfte. Zum anderen kamen Nebenprodukte aus dem mittleren Ofen hinzu, die dort bei der Kupferverhüttung anfielen. Dieser Ofen wurde reduzierend gefahren, sodass die zugesetzten Bleiglättefragmente aus dem mittleren Ofen zu Blei reduziert werden konnten. Schlussendlich wurde auch dieser Ofen mit Holzkohle betrieben, und es ist zu einer ähnlichen chemischen Reaktion zwischen Ofenlehm, Holzkohlenasche und Schlacke gekommen, wie bei den anderen Öfen.

Dieser Ofen produzierte ebenso wie die beiden anderen Öfen weitere Produkte, wie kleine Mengen an Kupfer, kupfer- bzw. kupfersteinhaltigen Schlacken und Schlacke, die von allen Metallen soweit getrennt war, dass diese auf die Halde befördert wurde. Es gibt identische Funde von Schlacken mit Kupferkonzentrationsstein am Abstichbereich dieses Ofens und der Gichtbühne des mittleren Ofens, so dass es sehr wahrscheinlich ist, dass diese im mittleren Ofen erneut eingesetzt und ausgeschmolzen wurden. Es ist nicht zu klären, ob die geringen Mengen an Kupfermetall erneut im mittleren Ofen eingesetzt wurden, um diese mit aufzuschmelzen, oder ob diese direkt abtransportiert wurden.

Kreislaufmaterialien

Wie konnten die Materialien unterschieden werden? Wie stellte man den Kupfer- oder Bleigehalt fest? Dies sind sehr spannende Fragen, die sich nicht ohne weiteres aus den theoretischen Überlegungen beantworten lassen. Es ist jedoch die Möglichkeit ge-

geben, dass diese Fragen an der Realität vorbei gehen, und es könnte die Frage gestellt werden, ob es überhaupt notwendig war, die Gehalte eines Materials zu bestimmen. Ferner ist die Problematik zu klären, ob es dem Schmelzer nicht ausreichte, allein durch seine Beobachtung während des Schmelzprozesses abzuwägen, welches Material vorlag. Im Falle des Rohschmelzofens gibt immerhin der Ort Aufschluss über das Material, wenn man davon ausgeht, dass das Schmelzen der Erze ein gut durchorganisiertes Unterfangen war.

Ohne Frage besaßen die alten Schmelzer eine Detailkenntnis der Materie, die wir aus heutiger Sicht nicht ermessen können und noch schwerer in Worte zu fassen vermögen. Ein Blick in den Reichtum allein der Termini vermag uns das Schmelzbuch des Hans Stöckl³³ vermitteln.

Theophilus Presbyter

Theophilus schreibt in seiner „Schedula diversarum artium“ über die Verhüttung von Kupfer und zwar in zwei Kapiteln: „de cupro“ und „de purificatione cuprum“. Bisherige Studien zu Theophilus bestätigten ihm ein generell hohes Maß an handwerklich-fachlicher Autorität, aber in Bezug auf das Kupferkapitel waren sich die Übersetzer einig, dass er dort einen Prozess beschrieb, den er wohl nicht aus eigener Erfahrung kannte.³⁴ Im Kapitel über das Kupfer nennt Theophilus die Herkunft des Erzes auch nicht explizit, charakterisiert aber Kupfererze anhand von drei Eigenschaften³⁵:

„[...] es ist nämlich ein Stein von grüner Farbe, größter Härte und von Natur aus mit Blei vermischt.“

Bei der Übersetzung unterliefen den Bearbeitern jedoch Fahrlässigkeiten, die zu einer Fehlinterpretation führten. Ein Kernproblem stellt Theophilus' Farbbeschreibung des Erzes dar, denn die grüne Farbe verleitet sämtliche Bearbeiter zu der Annahme, es müsse sich um Malachit $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$, ein grünlich türkises Kupferkarbonat aus der Verwitterungszone, handeln, welches aber bei kritischer Betrachtung weder hart, noch mit Blei vermischt ist, wie Theophilus es schreibt. Dieser Widerspruch wurde zwar auch von Hawthorne und Smith³⁶ sowie Brepohl³⁷ erkannt, führte aber nicht zu der Einsicht, dass möglicherweise die moderne Interpretation fehlerhaft sein könne, sondern dazu, dass der Fehler bei Theophilus liegen müsse.

Die Erze des Rammelsberg entsprechen der Beschreibung des Theophilus in zwei der drei Punkte ganz genau³⁸: Erstens ist das Erz von extremer Härte, und zweitens ist dies ein Erz, das sowohl Blei- als auch Kupferminerale in inniger Verwachsung enthält. Es ist also von Natur aus mit Blei vermischt. Der dritte Punkt, die Farbe, ist schwieriger zu argumentieren, da das Erz nicht grün im Sinne von Malachit ist. Es erscheinen mir zwei Hypothesen zu dieser Frage denkbar.

Erstens, die grüne Farbe stellt sich bei Lagerung der Erze unter freiem Himmel relativ schnell durch oberflächliche Verwitterung der Erze ein. Bei einer Lagerung der Erze, wie wir sie aus dem späten Mittelalter am Rammelsberg kennen, bei der ein Erzvorrat für mindestens eine Jahresproduktion vorgehalten wurde, ist die oberflächliche Verwitterung und infolge dessen ein Grünfärbung durchaus denkbar.³⁹ Ob und inwieweit sich diese Lagerhaltung auf das Ende des 12. Jahrhunderts zurückprojizieren lässt, muss für den Augenblick offen bleiben. Aber Grabungen im Goslarer

Stadtkern erbrachten dort befindliche Erzdepots des 12./13. Jahrhunderts als Befund; es fanden sich sogar Steine, die als Gewichtsteine anzusprechen sind.⁴⁰ Wir halten fest, dass eine äußerliche Grünfärbung zumindest denkbar erscheint.

Zweitens ist es denkbar, dass Theophilus' Konzept der Farbe „Grün“ deutlich weiter gefasst ist, als das spezifische Türkis-Grün des Malachits. Der Pyrit und der Kupferkies des Rammelsbergs verlieren an der Luft sehr schnell ihren hellen gold-gelben Glanz und erscheinen metallisch grünlich, nicht unähnlich der Farbe von poliertem, aber ungeputztem Messing. Am Huneberg wurde sowohl Kupfer als auch Blei aus Rammelsbergerz produziert.

Es gibt eindeutige Hinweise auf einen Rohschmelzofen, sowie einen Kupfer- und einen Bleiöfen. Hier zeigen sich deutliche Parallelen zu Theophilus, der beschreibt, dass das Blei abfließe und das Kupfer zurückbleibe⁴¹:

„[...] aus gewissen kleinen Poren fließt das Blei heraus, und das Kupfer verbleibt innen.“

Was genau mit dem Ausfließen des Bleis gemeint ist, lässt Theophilus unklar. Es wäre denkbar, dass ein Herausfließen aus dem Erz gemeint ist. Dann würde das Blei in der Tat durch die Charge nach unten in den Ofentiegel tropfen. Es könnte aber auch nur gemeint sein, dass das Blei aus dem Ofen heraus fließt, d. h., dass bei der Kupferverhüttung dieses Erzes zuerst Blei aus dem Ofen abgestochen wird. Die zweite Passage des Satz, dass das Kupfer innen verbleibe, bezieht sich wohl darauf, dass das Kupfer im Ofen verbleibe, während das Blei schon abgestochen wurde und impliziert, dass das Kupfer zu einem späteren Zeitpunkt aus dem Ofen holte. Auf welche Art und Weise das geschah, lässt Theophilus offen.

Dennoch werden die Parallelen zu dem Text, den Theophilus verfasst hat, sehr deutlich und unterstützen die Hypothese, dass Theophilus von Rammelsberger Erzen spricht. Mehr noch, er beschreibt einen Prozess, bei dem zwei Metalle, nämlich Blei und Kupfer, aus ein und demselben Ofen abgestochen werden mussten, um Kupfer zu erzeugen. Die Untersuchung der Befunde von der Hütte vom Huneberg konnte damit eine Lücke in unserem Verständnis der mittelalterlichen Kupfererzeugung schließen.

In der Prozessrekonstruktion des Hunebergs wird bewusst auf den Begriff Kupferraffinationsöfen verzichtet, da am mittleren Ofen, dem Kupferofen, ein zwar relativ sauberes Schwarzkupfer, aber eben doch nur ein Schwarzkupfer produziert wurde. Dieses unterscheidet sich vom Kupfer des am Rohschmelzofen gefundenen in erster Linie durch einen weitaus geringeren Umfang von Begleitphasen, wie Kupfersulfiden, Antimoniden oder Arseniden. Hier zeigen sich weitere Ähnlichkeiten zu Theophilus' Darstellung, der in einem weiteren Kapitel das Reinigen des Kupfers beschreibt. Allerdings weicht die Darstellung des Theophilus auch deutlich vom archäologischen Befund ab, da Theophilus die Herstellung von Hüttenkupfer beschreibt oder zumindest die nahezu komplette Entfernung des Bleis aus dem Kupfer, welches durch die Beschreibung des Tests auf Warmbrüchigkeit unterstrichen wird. Die Funde vom Huneberg weisen nicht die geforderte Reinheit auf. Ergänzend muss aber darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der Kupferraffinationsmethode, wie Theophilus sie beschreibt, unter Umständen um eine Werkstattmethode und weniger um eine Produktionsmethode handeln könnte, wie sie zur Anwendung kommt, wenn etwa ein besonders reines Stück Kupfer benötigt wird, weil es nachträglich ver-

goldet werden muss. Solch reine Kupfersorten sind für viele Arbeiten, wie etwa Gussarbeiten, nicht notwendig gewesen und wurden dementsprechend nicht raffiniert.⁴²

Seigerhüttenprozess oder nicht?

Da es in Theophilus' Übersetzung⁴³ angesprochen und auch in Arbeiten der Brockner'schen Arbeitsgruppe zur Harzmontangeschichte des Öfteren diskutiert wurde⁴⁴, hat man das Fundmaterial dahingehend überprüft, ob und inwiefern am Fundplatz eine dem Seigern ähnliche oder eventuell diesem vorausgehende Technologie Anwendung fand. Dem muss eindeutig widersprochen werden. Eine Seigerung oder eine ähnliche Tätigkeit fand nicht statt. Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse, die zu dieser Einschätzung führten, kurz notiert:

1. Bleierz und Kupfererz – nicht Blei und Kupfer
2. Silbergehalt im α -Kupfer
3. Silbergehalte in Bleifunden der verschiedenen Öfen

Der Begriff der Seigerung bedarf einer Abgrenzung. Für diese Studie wird ausdrücklich auf einen engen Definitionsraum des Terminus hingewiesen: Seigerung bezieht sich in diesem Sinne nur auf die Entsilberung von Kupfer, entsprechend der Technik, die erstmalig um 1430 Eingang in die schriftliche Überlieferung fand. Diese berichtet, dass am Frauentor zu Nürnberg die Seigerung Anwendung fand.⁴⁵ Selbstverständlich finden sich am Huneberg Blei-Kupfer-Bruchstücke, die an Dörner oder Frischstücke erinnern, wie auch von Hegerhorst⁴⁶ von anderen Fundplätzen berichtet wird. Am Huneberg wird dem Kupfer das Blei nicht absichtlich zugesetzt, sondern das Blei ist ein integraler Bestandteil der Ofenbeschickung, da sich der Bleiglanz vom Kupferkies nicht auf manuellem Wege trennen ließ. Im Hinblick auf die physikalischen und chemischen Prozesse bei der Verhüttung bleihaltiger Kupfererze sind durchaus Parallelen gegeben, die eine Aufnahme des Silbers im Blei möglich machen und damit an einen „Vorläufer“ der Seigerung denken lassen. Hierbei muss bedacht werden, dass das nur funktioniert, wenn der Gehalt an Silber im Kupfer nicht schon vorher größer ist als der Gehalt an Silber im Blei. Im Rammelsberger Erz sind aber die Silberträger vorwiegend mit dem Bleiglanz vergesellschaftet.

Zudem könnten die Seigerung oder ein Vorläuferprozess nur dann in Betracht gezogen werden, wenn die chemischen und metallurgischen Analysen der vorliegenden Studie ignoriert würden, denn bei einer Entsilberung des Kupfers ist naturgemäß ein Unterschied im Silbergehalt zu erwarten, wenn entsilbertes mit nicht entsilbertem Kupfer verglichen wird. Das α -Kupfer aller untersuchten Kupferproben liegt jedoch zwischen 0.11 und 0.13 Gewichtsprozent, wobei es keine systematisch kleineren Werte bei den Kupferproben des mittleren Ofens gibt. Es verbleiben noch die zwei Blei- und Bleiglätteproben des mittleren Ofens, die zum Teil erhebliche Silbergehalte aufweisen. Wichtig ist hierbei der Fundort dieser Proben, denn diese wurden als Tröpfchen direkt unterhalb des Ofenraumes gefunden, sodass keine gesicherte Aussage über eine eventuell unbeabsichtigte weitere thermische Behandlung gemacht werden kann. Es ist durchaus denkbar, dass diese Proben im Verlauf einer oder mehrerer Ofenreisen weiter oxidiert wurden und auf diese Weise einen höheren Silbergehalt suggerieren, als dies etwa das frische Bleimetall aufwies. Weitere Blei- und Bleiglät-

teproben, die auch am mittleren Ofen im Bereich des Abstichs oder unterhalb gefunden wurden, gleichen den Blei- und Bleiglätteproben, die auf der Arbeitsplattform des westlichen Ofens aufgefunden wurden.

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass Theophilus Presbyter, im Gegensatz zu den bisherigen Annahmen, sehr wohl einiges von der Kupferverhüttung verstand. Es ist darüber hinaus sehr wahrscheinlich, dass das Erz, über welches er berichtet, aus dem Rammelsberg stammt. Eine frühe Form der Seigerung kann für diesen Hüttenplatz ausgeschlossen werden. Es handelt sich vielmehr um eine Produktion von Blei und Kupfer über sukzessive Anreicherungsstufen.

Zum Verständnis ist es notwendig, die genaue Herkunft der untersuchten Funde zu kennen. Hier hat die gute Grabungstechnik zweifellos hervorragende Arbeit geleistet, denn nur dadurch ist es in dieser Studie erstmalig gelungen, die Herkunft der Rohmaterialien, Zwischenprodukte und Endprodukte exakt zu verorten. Darauf aufbauend ist es möglich, eine detaillierte Hypothese einer Verhüttungstechnologie vorzulegen, die über eine schematische Darstellung hinausgeht. Es zeigte sich, dass die Wiederentdeckung der verlorengegangenen Überlieferung in Bezug auf die Prozessführung bei der Kupfer- und Bleiverhüttung im Harz, nur durch das Zusammenspiel von historischen Wissenschaften, naturwissenschaftlicher Analytik und der Archäologie Erfolg versprechen kann.

Zum ersten Mal können wir, auch aufgrund der simultanen Auswertung und der guten Grabungsdokumentation, die Materialströme auf dem Hüttenplatz präzise nachvollziehen.

Beispielsweise kann eine Schlacke des westlichen Ofens durchaus als Rohmaterial oder Zuschlag des östlichen Ofens, etwa beim Anfahren des östlichen Ofens, dienen, sodass eine unreflektierte Nutzung dieser Termini zu Verwirrung führt. Ganz allgemein lässt sich feststellen, dass in den vergangenen Jahrhunderten eine Verarmung an Termini eingesetzt hat, die es uns erschwert, die mittelalterlichen Prozesse adäquat zu beschreiben. Ein Blick in das 300 Jahre jüngere Schmelzbuch des Hans Stöckl⁴⁷ kann uns diesbezüglich einen Eindruck vermitteln.

Anhang: Originalfassung Theophilus, Kapitel 63 De Cupro, nach Ilg 1874:

Cuprum in terra nascitur. Cujus vena cum invenitur, summo labore fodiendo et fragendo acquiritur. Est enim lapis colore viridis ac durissima et plumbo naturaliter mixtus. Qui lapis abundanter effossus imponitur rogo et comburitur in modum calcis, nec tamen mutat colorem, sed duritiam mittit, ut confrangi possit. Deinde minutatim confractus imponitur fornaci, et follibus atque carbonibus adhibitis incessanter die ac nocte confaltur. Quod ipsum diligenter et caute fieri debet, id est ut in primo carbones imponantur, deinde lapidis minutiae superfundantur, rursumque carbones et denuo lapides; sic fiat, donec ad capacitatem fornacis sufficiat. Cumque lapis coeperit liquifieri, per cavernulas quasdam plumbum effluit et cuprum intro remanet.

Anmerkungen

- 1 Schedula diversarum artium - de diversis artibus. Z. B. Brepohl 1999; Dodwell 1961; Hawthorne/ Smith 1979; Ilg 1874; Lessing 1774; Theobald 1933; Theophilus/ Hendrie 1847.
- 2 Freise 1981, S. 281.
- 3 Dines 2010
- 4 Stiegemann/ Westermann-Angerhausen 2006.
- 5 Freise 1981.
- 6 Der originale lateinische Text befindet sich im Anschluss an den Artikel[.]
- 7 Dodwell 1961.
- 8 Hawthorne/ Smith 1979.
- 9 Brepohl 1999.
- 10 "[...] confusing statements [...]": Hawthorne/ Smith 1979, S. 139.
- 11 Bartels et al. Linke 2007, S. 168f.
- 12 Brepohl 1999, S. 172.
- 13 Bartels et al. 2007, S. 168f.
- 14 Eine Mischung aus Lehm, Quarzsand und fein zermahlener Holzkohle, mit der beispielsweise der Tiegel des Ofens ausgekleidet wurde. Die Holzkohle im Lehm verbrannte während der Ofenreise und gewährleistet eine reduzierende Atmosphäre dort wo sich das flüssige Metall oder der flüssige metallurgische Stein sammelt.
- 15 Dieser Tiegel ist ortsfest und verbleibt im Ofen. Das Schmelzgut wird abgestochen. Dieser Tiegel ist nicht mit einem Schmelztiegel zu verwechseln.
- 16 Stedingk 2004.
- 17 Hillebrand 1967.
- 18 Kolb/ Brockner 1988.
- 19 Lehmann in press. Diese Dissertation befindet sich im Druck und konnte bis zur Drucklegung des vorliegenden Bandes nicht eingesehen werden. Die wesentlichen Punkte in Bezug auf den Rammelsberg sind mir jedoch bekannt.
- 20 Ercker 1968, S. 256.
- 21 SEDEX: submarin – sedimentär – exhalativ
- 22 Stedingk 2004, S. 19.
- 23 Stedingk 2004, S. 29.
- 24 Asmus 2012, S. 222f.
- 25 In diesem Artikel wird immer wieder von Phasen die Rede sein. Dies ist das Äquivalent zu den Mineralien in der Mineralogie. Da Phasen nicht geologischen Ursprungs, sondern anthropogene Bildungen sind, hat sich in der Archäometallurgie dieser Begriff etabliert.
- 26 Goldenberg 1996, S. 40 nach Tafel/ Wagenmann 1951, S. 319.
- 27 Bachmann 2000.
- 28 Man spricht von Klaubung, wenn das Erz vor dem Verhütten vom Gangmaterial manuell getrennt werden kann.
- 29 Erz ist ein Begriff aus der Ökonomie. Erst wenn ein Mineralvorkommen ökonomisch sinnvoll ausgebeutet werden kann, spricht man von einem Erzvorkommen. Im hohen Mittelalter war Zink nicht als Metall bekannt.
- 30 Die Bleieinschlüsse waren silberführend und müssen somit als Werkblei bezeichnet werden.
- 31 Schlacke die entweder am Stein anhaftete, und/oder Schlacke die noch größere Mengen an Steineinschlüssen beinhaltet.
- 32 Suhling 1976; ein metallurgisches Verfahren zur Entsilberung von Schwarzkupfer, das erstmalig für das frühe 15. Jahrhundert in Nürnberg schriftlich belegt ist.
- 33 Egg 1963.
- 34 Bartels et al. 2007, S. 146.
- 35 Theophilus/ Hendrie 1847, S. 304 : [...] Est enim lapis colore viridis ac durissima et plumbo naturaliter mixtus. [...]
- 36 Hawthorne/ Smith 1979.
- 37 Brepohl 1999.
- 38 Bartels et al. 2007, S. 168f.
- 39 Bartels et al. 2007, S. 269.
- 40 Bartels et al. 2007, S. 91.
- 41 Theophilus/ Hendrie 1847, p. 304: [...] per cavernulas quasdam plumbum effluit et cuprum intro remanet.
- 42 Z. B. Dungworth 2004; Forshell 1992; Drescher 1993a; Drescher 1993b; Drescher 1993c.
- 43 Hawthorne/ Smith 1979.
- 44 Z. B. Hegerhorst 1998.
- 45 Suhling 1976, S. 59.
- 46 Hegerhorst 1998.
- 47 Egg 1963.

Bibliographie

- ASMUS, Bastian:
2012 *Medieval Copper Smelting in the Harz Mountains, Germany*, (= Montanregion Harz, Bd. 10), Bochum 2012.
- BACHMANN, Hans-Gert:
2000 *Zur Metallerzeugung im Harz während des Früh- und Hochmittelalters*, in: Segers-Glocke, Christiane (Hrsg.): *Auf den Spuren einer frühen Industrielandschaft. Naturraum – Mensch – Umwelt im Harz*, (Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen, Bd. 21), Hameln 2000, S. 129-139.
- BARTELS, Christoph; FESSNER, Michael; KLAPPAUF Lothar; LINKE, Friedrich-Albert:
2007 *Kupfer, Blei und Silber aus dem Goslarer Rammelsberg. Von den Anfängen bis 1620*, (= Montanregion Harz, Bd. 8), Bochum 2007.
- BREPOHL, Erhard:
1999 *Theophilus Presbyter und das mittelalterliche Kunsthandwerk. Band 2: Goldschmiedekunst*, Köln 1999.
- DINES, Ilya:
2010 *The Theophilus Manuscript Tradition Reconsidered in the Light of New Manuscript Discoveries*, in: Speer, Andreas (Hrsg.): *Zwischen Kunsthandwerk und Kunst: Die Schedula Diversarum Artium*, hrsg. in Zusammenarbeit mit Maxime Mauriège u. Hiltrud Westermann-Angerhausen. Berlin, Boston 2010, S. 3-14.
- DODWELL, Charles Reginald:
1961 *Theophilus: The various arts / de diversis artibus*, translated from the Latin with introduction and notes by C. R. Dodwell, London 1961.
- DRESCHER, Hans:
1993a *Ein Kommentar zu: Gerhard Laub: Zum Nachweis von Rammelsberger Kupfer in Kunstgegenständen aus Goslar und in anderen Metallarbeiten des Mittelalters*, in: Gosebruch/ Steigerwald 1993, S. 313-316.
1993b *Zur Herstellungstechnik mittelalterlicher Bronzen aus Goslar. Der Marktbrunnen, der neu gefundene Bronze Vogel, der Greif vom Kaiserhaus und der Kaiserstuhl*, in Gosebruch/ Steigerwald 1993, S. 251-301.
1993c *Zur Technik bernwardinischer Silber- und Bronzegüsse*, in: Brandt, Michael; Eggebrecht, Arne (Hrsg.): *Bernward von Hildesheim und das Zeitalter der Ottonen: Katalog der Ausstellung*, Bd. 1, Hildesheim 1993, S. 337-351.
- DUNGWORTH, David:
2004 *Caldarium? An antimony bronze used for medieval and postmedieval cast domestic vessels*, in: *Historical Metallurgy* 38, 2004, Nr. 1, S. 24-34.
- EGG, Erich:
1963 *Das Schmelzbuch des Hans Stöckl. Die Schmelztechnik in den Tiroler Hüttenwerken um 1550*, in: *Der Anschnitt* 15, 1963, Sonderheft 2, S. 1-34.
- ERCKER, Lazarus:
1968 *Das Kleine Probierbuch von 1556. Vom Rammelsberge und dessen Bergwerk, ein kurzer Bericht von 1565. Das Münzbuch von 1563. Bearbeitet und eingeleitet von Paul Reinhard Beierlein, hrsg. v. Heinrich Winkelmann*, Bochum 1968.
- FORSHELL, Helena:
1992 *The Inception of Copper Mining in Falun. Relation between element composition in copper artifacts, mining and manufacturing technology and historic development with particular emphasis on copper from the Falu mine*, Archaeological Research Laboratory, (= Theses and papers in archaeology, 2), Stockholm 1992.
- FREISE, Eckhard:
1981 *Roger von Helmarshausen in seiner monastischen Umwelt*, in: *Frühmittelalterliche Studien* 15, 1981, S. 180-293.
- GOLDENBERG, Gert:
1996 *Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im Schwarzwald. Blei-, Silber und Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert*, in: GOLDENBERG, Gert; OTTO, Jürgen; STEUER, Heiko (Hrsg.): *Archäometallurgische Untersuchungen zum Metallhüttenwesen im Schwarzwald*, (= Archäologie und Geschichte, Bd. 8), Sigmaringen 1996, S. 9-274.
- GOSEBRUCH, Martin; STEIGERWALD, Frank (Hrsg.):
1993 *Goslar Bergstadt – Kaiserstadt in Geschichte und Kunst*, Braunschweig 1993.
- HAWTHORNE, John G.; SMITH, Cyril Stanley (Hrsg.):
1979 *Theophilus: On divers arts: the foremost medieval treatise on painting, glassmaking and metalwork*, translated from the Latin with introduction and notes by John G. Hawthorne and Cyril Stanley Smith, New York 1979.
- HEGERHORST, Karin:
1998 *Der Harz als frühmittelalterliche Industrielandschaft – Archäometrische Untersuchungen an Verhüttungsrelikten aus dem Westharz*, Dissertation TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld 1998.
- HILLEBRAND, Werner:
1967 *Von den Anfängen des Erzbergbaus am Rammelsberg bei Goslar*, in: *Niedersächsisches Jahrbuch für Landesgeschichte* 39, 1967, S. 103-114.
- ILG, Albert:
1874 *Theophilus Presbyter. Schedula Diversarum Artium*, (= *Quellen-schriften für Kunstgeschichte und Kunsttechnik des Mittelalters und der Renaissance*, Vol. 7), Wien 1874.
- KOLB, Hans Emil; BROCKNER, Wolfgang:
1988 *Archäometrische Untersuchungen an Grabungsbefunden des frühmittelalterlichen Herrnsitzes Düna/ Osterode*, *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 35, 1988, Nr. 2, S. 611-620.
- LEHMANN, Robert:
in press *Archäometallurgie von mitteleuropäischen Silberbarren und Münzen*, *Promotionsschrift*, Leibniz Universität Hannover, Hannover (im Druck).
- LESSING, Gotthold Ephraim:
1774 *Vom Alter der Ölmalerey aus dem Theophilus Presbyter*, Braunschweig 1774.
- STEDINGK, Klaus:
2004 *Die Minerallagerstätten des Harzes und seines Umfeldes*, in: *Taggungsband 7. Internationaler Bergbauworkshop 2004*, Clausthal-Zellerfeld 2004, S. 13-34.
- STIEGEMANN, Christoph; WESTERMANN-ANGERHAUSEN, Hiltrud:
2006 *Schatzkunst am Anfang der Romanik. Der Paderborner Dom-Tragaltar und sein Umkreis*, München 2006.
- SUHLING, Lothar:
1976 *Der Seigerhüttenprozess. Die Technologie des Kupferseigerns nach dem frühen metallurgischen Schrifttum*, Stuttgart 1976.
- TAFEL, Viktor; WAGENMANN, Karl:
1951 *Lehrbuch der Metallhüttenkunde*. Bd. 1: *Gold, Silber, Platinmetalle, Kupfer, Quecksilber, Wismut*, Leipzig 1951.
- THEOBALD, Wilhelm:
1933 *Technik des Kunsthandwerks im 10. Jahrhundert des Theophilus Presbyter. Schedula Diversarum Artium*, Berlin 1933.
- THEOPHILUS Presbyter; HENDRIE, Robert:
1847 *Theophili, qui et Rugerus, presbyteri et monachi, libri III: De diversis artibus: seu, Diversarum artium schedula*, London 1847.

Anschrift des Verfassers

Bastian Asmus, PhD
Labor für Archäometallurgie
Beroldingerweg 1
79194 Gundelfingen