

Aufgaben und Zielsetzung archäometallurgischer Untersuchungen : Rekonstruktion früherster Hüttenprozesse in der Eisenmetallurgie

Autor(en): **Hauptmann, Andreas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **57 (1986)**

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-378187>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

dies trifft aber für die Eisenverhüttungsplätze kaum zu.

Nach wie vor die klassische Methode der Prospektion ist die Flurbegabung und die damit zusammenhängende Befragung.⁵ Nicht wie im flachen Gelände mit seinem intensiven Ackerbau, wo man nach dem Umbrechen der Felder ganz einfach das Gelände abgehen kann, ist man ja hier auf Zeugen und Spuren angewiesen, die oftmals in unwirtlichen Waldgebieten liegen. Forstorgane und Jäger kennen oftmals isoliert liegende Schlackenwürfe.

Eine gewisse Unterstützung stellt bei dieser Methode auch die Auswertung von Orts- und Flurnamen dar. Mit Hilfe dieser toponomastischen Methode ist es z.B. möglich, Lagerstätten (Zusammensetzungen mit Erz- oder Erz-, oftmals aber auch ein Metallname oder aber Hinweise auf die auffällige rote Färbung der Oxydationszone), aber auch Hüttenplätze (Rohstatt = Röststätte, Gramatl = Röststätte, oder z.B. Blähüter für «Blähhaus»-Stuckofenhütte) zu lokalisieren.⁶

Vor der archäologischen Untersuchung solcherart georteter Plätze werden vielfach die klassischen Prospek-

tionsmethoden eingesetzt: Geoelektrik, -magnetik und -seismik. Eine speziell für die Archäologie von Schmelzplätzen adaptierte Aufnahme mit dem Protonenmagnetometer hat nicht nur bei Kupferverhüttungsplätzen sondern auch bei dem Eisenverhüttungsplatz Admont-Dürnschöberl nützliche Entscheidungshilfen für die Ausgrabung erbracht⁷ (siehe Abbildung).

Schichtverhältnisse können vor der Ausgrabung mit einem Peilstangengerät oder Bohrstock abgeklärt werden. Diese Geräte eignen sich auch zur Probennahme für Geochemische Prospektion.⁸ Siedlungsaktivitäten sind mit Erfolg mit der Phosphatmethode nachgewiesen und in grossräumigen Flächenbeprobungen lokalisiert worden. Eine vergleichbare Methode für die Entdeckung von Hüttenplätzen in den Alpen ist noch nicht gefunden, so sind noch immer Schlackenfunde untrüglicher Garant.

Neben den gerade besprochenen Methoden sind in der Archäologie schon lange eingesetzte naturwissenschaftliche Untersuchungen von Belang: Geologie und Bodenkunde unter Einschluss der Pollenanalyse zur Klärung pedologischer, stratigraphischer, ökologischer und klimage-

schichtlicher Fragen. Paläobotanik und Paläozoologie (bei Funden von Menschenknochen auch Anthropologie) ermöglichen Aussagen zum Speiseplan, aber auch zur spezifischen Tier- und Pflanzennutzung für arbeitstechnische Zwecke.

Anmerkungen:

¹ So die Umschreibung in der Zeitschrift *Archaeometry 1*, Cambridge 1958.

² Der Terminus wurde speziell durch die Zeitschrift «*Prospezioni Archeologiche*» der *Fondazione Lerici (Milano)* populär.

³ Verhältnismässig gering ist der Niederschlag in der einschlägigen Literatur zur Luftbildarchäologie. Als ein Beispiel von Bergbauspuren, das Grubenfeld von Grimes Graves (Feuersteinbergbau) in R.R. Clarke, *East Anglia*, London 1960, Taf. 6.

⁴ K. Bielenin: *Frühgeschichtlicher Bergbau und Eisenhüttenwesen im Swietokrzyskie Gebirge*. Katalog: *Eisenverhüttung vor 2000 Jahren*, Berlin 1977, 11ff.

⁵ Vorbildlich z.B. die Reihe: *Die vor- und frühgeschichtlichen Denkmäler und Funde in Schleswig-Holstein* (Veröff. d. Landesamtes für Vor- und Frühgeschichte in Schleswig) in denen auch Eisenverhüttungsplätze und Schlackenfunde erfasst wurden.

⁶ Vgl. auch A. Barb: *Spuren alter Eisengewinnung im heutigen Burgenland*, *Wiener Prähistor. Zschr.* 24, 1937, 113ff.

⁷ H. Presslinger, C. Eibner, G. Walach: *Mittelalterlicher Eisenbergbau des Klosters Admont*, *Schild von Steier*, im Druck.

Aufgaben und Zielsetzung archäometallurgischer Untersuchungen: Rekonstruktion frühester Hüttenprozesse in der Eisenmetallurgie

Dr. Andreas Hauptmann, Bochum

Im allgemeinen wird der Beginn der Eisenzeit in den Ländern des Vorderen Orients in die Zeit des ausgehenden zweiten Jahrtausends gelegt, also etwa nach 1200 v.Chr., als der Wert des Metalls bzw. die Eisenmetallurgie einen Stand erreicht hatten, die eine Herstellung von Geräten und Waffen in grossem Umfang ermöglichten. In Mitteleuropa setzte die Eisenzeit rund 400 Jahre später, etwa zu Beginn des achten Jahrhunderts v.Chr. ein¹.

Diese archäologisch und technikgeschichtlich relativ gut umrissenen Perioden repräsentieren jedoch nicht das, was im Titel angesprochen ist, nämlich die frühesten Hüttenprozesse der Eisengewinnung.

So werden die ältesten inzwischen bekannten Eisengegenstände, die durch pyrometallurgische Prozesse hergestellt worden sind, inzwischen bis in die frühe Bronzezeit (3000–2000) datiert². Sie wurden in den Ländern des Nahen Ostens gefunden und dienten aller Wahrscheinlichkeit nach nicht als Gebrauchsgegenstände. Von diesen aus terrestrischen Erzen hergestellten Artefakten werden noch ältere Eisengegenstände abgegrenzt, die aus nickelhaltigem Meteoreisen allein durch Schmieden in die gewünschte Form gebracht worden sind. Diese Abgrenzung nach chemischen Kriterien ist hier deshalb relativ gut möglich, weil es sehr wenige Eisenerzlagerstätten gibt, die derartig hohe Nickelgehalte besitzen. In die-

sem Zusammenhang sind vor allem Funde von Tepe Sialk/Iran aus der Zeit von 4600–4100 zu nennen³. Das bisher älteste Stahlartefakt, eine Dolchklinge, wurde erst jüngst in Pella/Jordanien gefunden: es stammt aus der mittleren Bronzezeit, ca. 2000–1600⁴. Dieser Fund liegt viele Jahrhunderte vor der Zeit, als Stahl regelmässig produziert worden ist, nämlich im 11. Jahrhundert auf Zypern und im 10. Jahrhundert in Palästina.

Diese Funde und Befunde sind von beträchtlichem Interesse, da sie den Hintergrund und die Entwicklung der Eisenzeit sowie die Transmission technologischer Informationen und Fähigkeiten in früher Zeit verstehen

helfen. Sie beinhalten jedoch auch fast immer Korrekturen des aktuellen Forschungsstandes und bestehender Hypothesen.

In Mitteleuropa hat sich die archäometallurgische Forschung beim Eisen bislang vor allem auf die Konstruktion und Funktionsweise des Rennofens konzentriert, der im allgemeinen als frühester Ofentyp angesehen wird. Nach der Auswertung zahlreicher Schmelzexperimente sowie archäologischer Schlacken- und Metallfunde können nach den Ausführungen OSANN's⁵ in solchen Rennfeuern aus thermodynamischen Gründen nur niedriggekohlte Eisenlegierungen durch die Reduktion aus Eisenoxiden erzeugt werden. Für dieses Postulat sprechen natürlich eine ganz überwiegende Zahl von Eisenerzfunden mit geringen Kohlenstoffgehalten.

Für das Rennfeuerverfahren generell typisch ist das sehr schlechte Eisenausbringen, das durch die bewusste Bildung eisenreicher Silikatschlacken bei angenommenen Temperaturen bei rund 30% gelegen haben muss. Nach SPERL⁶ ist der Rennfeuerprozess aufgrund des sich bildenden Gemenges aus festem Eisen und flüssiger Schlacke als ein Dekantiervorgang aufzufassen. Anhand des bekannten Zustandsschaubildes «FeO» - SiO₂ argumentiert er, dass Ofentemperaturen über den Schmelzpunkt der Schlacke hinaus (also über etwa 1150-1200°C) zunehmend Verluste an «FeO» bedeuten und somit das Eisenausbringen verringern würden.

Demgegenüber vertritt STRAUBE⁷ die Ansicht, dass auch im Rennfeuerprozess hochgekohlt Eisen als Zwischen- oder Endprodukt auftreten kann: Nach seiner Meinung beruhe die Aufkohlung des Eisens dabei weniger auf dem Ofentyp als vielmehr auf den durch Erfahrung gewonnenen Arbeitsweisen. Er nähert sich hier ein wenig dem afrikanischen «direkten Stahlherstellungsprozess», der erst vor wenigen Jahren in seiner vollen Bedeutung und als ein eigenständiger Verfahrensprozess anerkannt worden ist⁸. Der Effekt dieses Verfahrens ist die Produktion von hochkohlenstoffhaltigem Eisen (mit über 1%C) mit den Eigenschaften von Stahl, und zwar im Gegensatz zum Modell des Rennfeuers

nicht aus Eisenoxiden, sondern aus einer eisenreichen Silikatschlacke. Die Prozesstemperaturen, so ergaben experimentelle Messungen, liegen hier bei 1500°C!

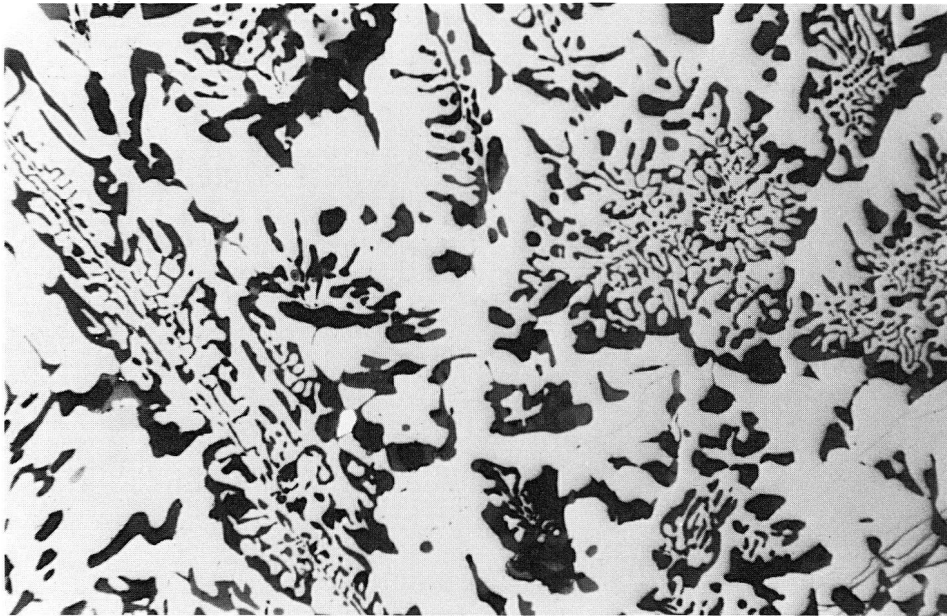
Bis vor wenigen Jahren ging man davon aus, dass das auch das älteste Eisen mit Ausnahme des meteoritischen Eisens im Rennverfahren gewonnen worden sei, deren Funktionsweise noch sehr kontrovers diskutiert wird. Wir kennen leider nur wenige Beispiele, an denen wir Informationen über diese frühesten Verfahrensprozesse sammeln können. Das eine sind Funde von der spätbronzezeitlichen Siedlung Kamid el-Loz im heutigen Libanon⁹. Das Modell, das für die Eisenverhüttung hier vorgeschlagen wird, ist denkbar einfach, theoretisch durchaus plausibel, aber von der Praxis der frühen Hüttenleute her vermutlich nicht durchführbar: Es beinhaltet die «simple» Reduktion von reinem Hämatit mit Holzkohle in kleinen Tiegelöfen, wobei aufgrund der sehr geringen Anteile an Gangart keine Schlacken angefallen sein sollen. Durch das rhomboedrische Kristallgitter des Hämatit entstand beim Reduktionsprozess eine grosse Reaktionsoberfläche, die eine schnelle Reduktion zu Eisen ermöglichte. Es wurde so, wie aus den Artefakten hervorgeht, niedriggekohlt Eisen produziert. Dies ist eine Hypothese, die durch andere frühe Schlacken- und Erzfundstücke nicht bestätigt werden kann. In Jordanien fand man vor wenigen Wochen Überreste eines Eisenverhüttungsplatzes vermutlich aus der Eisenzeit, an dem ebenfalls ausserordentlich reines hämatitisches Erz verarbeitet worden ist. Die Funde von tellerförmigen Schlacken, die nahezu völlig aus Wüstit, etwas Magnetit und Spuren von Silikaten bestehen, sind mit der Hypothese von Kamid el-Loz nicht vereinbar. Einzelheiten zu dieser Art der Verhüttung sind noch nicht untersucht¹⁰. Als drittes Beispiel seien Schlackenfundstücke von der Insel Thasos genannt, die bis jetzt noch nicht datiert sind¹¹, mit grosser Wahrscheinlichkeit aber einer sehr frühen Phase in der Eisenmetallurgie zuzuordnen sind. Hier wurden titanhaltige Eisenerze von Küstenseifen verhüttet, die ebenfalls ungewöhnlich reichhaltig gewesen sein müssen. Auch hier sind Forschungsarbeiten zur Verfahrenstechnik noch im Gange.

Die Eisengewinnung durch Reduktion sehr reiner Eisenerze weit vor der Rennfeuerverhüttung ist für das Verständnis der frühen Eisenmetallurgie und ihrer Entwicklung von grosser Bedeutung, auch wenn ihre technologischen Grundlagen noch relativ unbekannt sind und hier eine Forschungslücke vorliegt. Ein Punkt scheint sich dennoch herauszukristallisieren: es steht ein Modell zur Diskussion, das *auch* einen eigenständigen Beginn der Eisenmetallurgie andeutet. Die Entwicklung der Eisenmetallurgie aus der Kupfermetallurgie heraus, durch die unbeabsichtigte Ausscheidung von Eisen in Kupfer, hat hier möglicherweise eine Alternative.

Die Untersuchung der als Beispiele genannten Hüttenplätze zeigen, ebenso wie zahlreiche ältere Arbeiten an frühen Eisenschmelzplätzen, dass hier in den meisten Fällen Schlacken die einzigen Überreste der alten Hüttenprozesse sind. Andere Funde, die zur Rekonstruktion angewandter Verfahren, der Öfen oder Röstanlagen selbst herangezogen werden können, sind meist – wenn überhaupt – nur durch umfangreiche archäologische Grabungen erschliessbar. Auch ist die Eisenmetallurgie im Vergleich zur Kupfermetallurgie, bei der aufgrund einer Reihe von einzelnen Verfahrensschritten mehrere Zwischen- und Abfallprodukte anfallen können (Erz, Röstabfall, Stein, Schlacke, Rohkupfer usw.), arm an solchen Funden. Hinweise auf angewandte handwerkliche Techniken, die, wie wir vom Beispiel der afrikanischen Eisenerzeugung durch ethnographische Studien wissen, von grosser Bedeutung für den Ablauf pyrotechnischer Prozesse sein können, liegen aus den prähistorischen Perioden natürlich auch nicht vor.

So kommt den Schlacken als Reaktionsprodukten zwischen den einzelnen Einsatzstoffen Erz, Flussmittel und Brennstoff in der Rekonstruktion frühesten Hüttenprozesse eine entscheidende Bedeutung zu. Unter vorgegebenen thermodynamischen und reaktionskinetischen Parametern der Prozessführung selbst entstanden, sind sie als Indikatoren einer Reihe ökonomischer und technologischer Gegebenheiten und Abläufe zu werten.

Ähnlich wie in den modernen Geowissenschaften über den deskriptiven



Die chemische und mineralogische Untersuchung von Verhüttungsschlacken ist das wichtigste Mittel für die Rekonstruktion früher Hüttenprozesse. Chemische Zusammensetzung und Phasenbestand geben hier Aufschluss über die prozesstechnischen Parameter während des Schmelzprozesses. Hier eine eisenzeitliche Schlacke, die bei der Verhüttung reiner hämatitischer Erze anfiel. Sie besteht aus Wüstit (hell) mit eutektischen Verwachsungen von fayalitischem Olivin + Wüstit. Probe Jd-17/1, Tell edh-Dhahab/Jordanien. Vergr.: 200x, Oelimmersion, Auflicht.

Rahmen hinaus Chemismus und Mineralbestand von Gesteinen herangezogen werden, um Aufschlüsse über die physiko-chemischen Abläufe in der Erdkruste und im oberen Mantel zu gewinnen, können auch Schlacken Hinweise über Ofentemperaturen, Zusammensetzung der Gasatmosphäre, Erz- und Flussmittelzusammensetzung geben und damit zumindest partiell angewandte Verfahren zu erfassen helfen.

Grundlage hierfür ist die chemische und mineralogische Analyse, die in modernen Forschungslaboratorien mit einer Reihe von Methoden und Instrumenten durchgeführt werden kann: Röntgenmethoden, Atomabsorptionsspektrometrie, Mikroskopie, Elektronenstrahlmikrosonde uva.. Im Unterschied zur modernen Metallurgie, bei der es im Rahmen von Serienuntersuchungen lediglich um grobe chemische Charakterisierungen von anfallenden Schlacken geht, sollte die Analyse archäometallurgischer Schlacken sehr präzise sein. Der Grund: In vermutlich allen frühen Eisenverhüttungsprozessen sind aufgrund der vorgegebenen Erzbasis und den an die Schlacken gestellten hüttenmännischen Normanforderungen eisenreiche Silikatschlacken produziert worden, die in ihren Hauptbestandteilen sehr ähnlich zusammengesetzt sind.

Chronologische und lagerstättenpezifische Zuordnungen sind jedoch ebenso wie technologische Details – sofern überhaupt fassbar – nur über die Analyse von Neben- und Spurenbestandteilen erkennbar. Als Beispiel sei hier nur Titan, Arsen oder Nickel genannt.

Eine wichtige Aufgabe archäometallurgischer Untersuchungen ist die exakte mineralogisch-chemische Analyse von Mineralphasen, die in der Schlacke während ihrer Abkühlung kristallisiert sind wie auch der Einschlüsse ungeschmolzener Bestandteile oder Metalle. Sie können als Thermometer oder Sauerstoffbarometer (CO/CO₂-Verhältnis) dienen und enthalten Informationen über die Bildung des Metalls aus dem Erz und die Schlackenbildung.

Die Untersuchung dieser «inneren Typologie» von Schlacken als Hilfsmittel zur Rekonstruktion von Verfahrensbedingungen steht an einem Wendepunkt. Zahlreiche neuere Arbeiten¹² ergaben eine Fülle von Daten, die zweifelsohne ihren Niederschlag in der Archäometallurgie finden und Licht in bestehende Probleme bringen werden.

Seitens praxisorientierter Metallurgen wird hier allerdings häufig argumentiert, dass eine solche theoretische

Diskussion von Schlacken mit der Praxis des Hüttenmannes nur wenig gemein hat und kaum zur Klärung bestehender Probleme beitragen könne. Dieser Argumentation muss insofern zum Teil zugestimmt werden, als leider auch noch heute in der Metallurgie zwischen physikalisch-chemischer Theorie und der Praxis Differenzen bestehen. Jüngste Forschungsvorhaben an eingefrorenen Hochöfen belegen dies.

Es ist deshalb eine Synthese von theoretischen Daten aus alten Schlacken mit Befunden experimenteller Metallgewinnung in Modellen früher Schmelzöfen, wie sie schon häufig durchgeführt worden ist, nicht nur erstrebenswert, sondern dringend notwendig.

In welchen Bereichen die chemisch-physikalische Interpretation von Chemismus und Phasenbestand einer Schlacke sinnvoll eingesetzt werden kann, sei kurz an einigen Beispielen erläutert.

Zur Temperaturabschätzung früher Schmelzprozesse wurde immer wieder die Projektion reduzierter Pauschalanalysen von Schlacken in das ternäre System CaO-FeO-SiO₂ herangezogen. Hier pendelten sich die Aussagen auf einen «Richtwert» von 1200°C ein. Abgesehen davon, dass mit dem Schmelzpunkt einer Schlacke noch lange nicht die Maximaltemperatur des Ofens erfasst werden kann, hat es sich gezeigt, dass die Diskussion in dem genannten System aufgrund zu starker Vereinfachung oft zu ungenau und deshalb nicht geeignet ist. Realistischere Temperaturabschätzungen können erreicht werden, wenn weitere chemische Komponenten wie auch der Phasenbestand einer Schlacke berücksichtigt werden. Schlacken der Eisen- wie auch der Kupfermetallurgie können dann im allgemeinen in dem etwas komplexeren quaternären System CaO-Al₂O₃-FeO-SiO₂ beschrieben werden. Hierdurch können häufig bereits theoretische Schmelztemperaturen von über 1450°C erreicht werden: Werte, die durch die Untersuchung von Metall- oder ungeschmolzenen Chargenbestandteilen¹³ auch bestätigt werden. Zudem haben jüngere Experimente immer wieder gezeigt, dass bereits in niedrigen Herdöfen problemlos Temperaturen von 1500°C erreicht werden konnten.

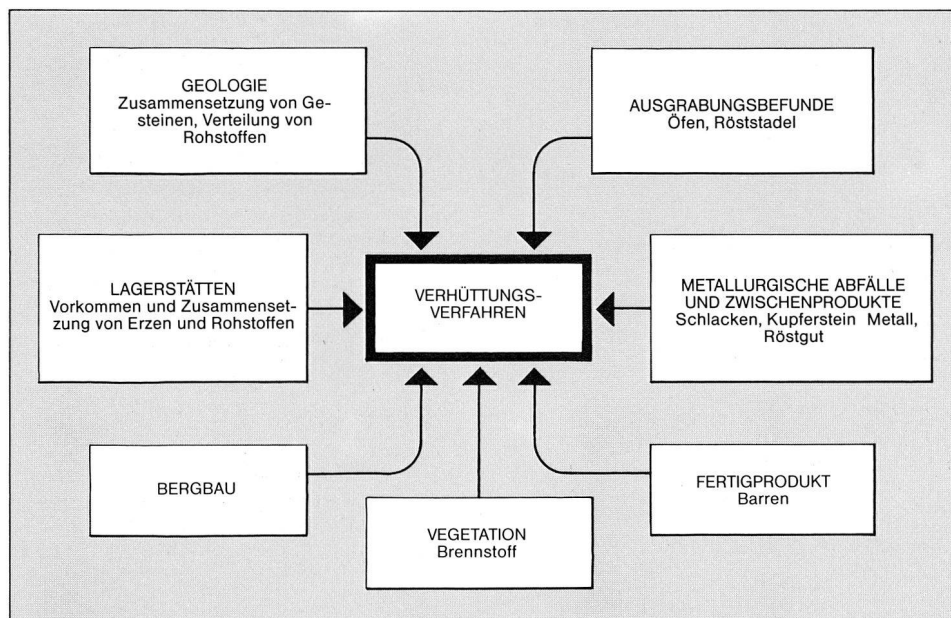
Auch in den etwa 1,5 m hohen Eisen-schmelzöfen der Hayas in Tanzania, die durchaus mit den Rennfeueröfen vergleichbar sind, konnten über 1500° C gemessen werden¹⁴.

Diese Temperaturangaben zeigen, dass in frühen Schmelzöfen durchaus auch mit menschlicher Muskelkraft Temperaturen erreicht werden konnten, die zumindest punktuell eine Ausscheidung von Eisen in flüssigem Zustand ermöglicht haben könnten.

Zur Bestimmung der für die Erzeugung der verschiedenen Eisensorten (niedriggekohltes Eisen, Stahl, Guss-eisen) wichtigen Oxidations- und Reduktionsverhältnisse während der Prozessführung kann ein Konzept herangezogen werden, das nicht nur die verschiedenen Eisenoxide und das Metall, sondern auch silikatische Schlackenphasen mit einbezieht, was spätestens nach dem afrikanischen Haya-Prozess zur Erzeugung von Stahl einleuchtend ist.

Dieses Konzept, in der modernen Petrologie sehr verbreitet, basiert auf den Gleichgewichtsverhältnissen von Eisenoxiden und Eisensilikaten in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck bzw. dem CO/CO₂-Verhältnis in der Gasatmosphäre des Ofens und der Temperatur¹⁵. Der Stabilitätsbereich der bekannten Schlackenphase Fayalit (Fe₂SiO₄) zeigt z.B., dass bei relativ hohen Prozesstemperaturen eine Reduktion des Fe²⁺-Ion aus dem Fayalit zu Eisen möglich ist. D.h., wenn bei 1200°C eine Reduktion aus Eisenoxiden zu Eisen erfolgt (Modell des Rennfeuerprozesses), kann bei 1400–1500°C bei demselben Sauerstoffpartialdruck auch eine Reduktion aus dem Silikat erfolgen. Dies ist mit einer höheren Aufkohlung verbunden und entspricht dem Prinzip des genannten afrikanischen Prozesses.

Hier ist auch nicht unbedingt am Prinzip des Dekantierprozesses festzuhalten: Betrachtet man die z.T. sehr hohen FeO-Gehalte vieler Eisenverhüttungsschlacken, ist durchaus bei den eben geschilderten thermodynamischen Gegebenheiten auch eine Entfernung des Eisens aus den Silikaten möglich, ohne dass dabei die für den Verfahrensprozess günstigen chemisch-physikalischen Eigenschaften der Schlacke (Schmelzpunkt, Viskosität, Aufnahmefähigkeit der Schlacke für unerwünschte Bestandteile etc.) wesentlich verändert werden.



Informationsquellen zur Rekonstruktion früherer Hüttenprozesse in der Archäometallurgie. Die Übersicht zeigt die Vielfalt verschiedener Wissenschaften, die hier beteiligt sein müssen. Dennoch sind aufgrund der Fundumstände immer die Schlacken die wichtigsten Indikatoren: Sie werden von Metallurgen und Mineralogen untersucht. Aus: HAUPTMANN 1985.

Schliesslich sei im Rahmen der Schlackenuntersuchungen noch ein sehr wesentlicher Punkt genannt, nämlich die Untersuchung des Eisens selbst, das in Form von Tröpfchen oder zusammengesinterten, schwammartigen Gebilden in der Schlacke eingeschlossen ist oder als Luppe vorliegt. Die chemische Analyse ist hier unverzichtbar mit der Metallographie und der Härteprüfung zu kombinieren. Man bekommt so Auskunft über die für die Beurteilung der Prozessführung so wichtige Aufkohlung und die übrigen Eigenschaften des produzierten Metalls. Durch schwankende Ofentemperaturen im Ofeninneren sind die Eisenstücke oft sehr heterogen aufgebaut und können je nach Ausgangserz Anreicherungen verschiedener Elemente wie Phosphor, Nickel, Kobalt, Arsen oder Kupfer zeigen. Die grössten Unterschiede treten jedoch in der Kohlenstoffverteilung auf. Es gibt Luppenstücke, in denen im mm-Abstand ein relativ weiches, ferritisches Gefüge mit mittelhartem Ferrit-Perlit-Gefüge des Stahls oder mit eutektoidem, harten Perlit-Zementit-Gefügen wechseln.

Die Vielfalt notwendiger Untersuchungen, um das Rätsel der frühen Metallurgen lösen zu helfen, kann hier nicht erschöpfend abgehandelt werden. Die Erfahrungen aus archäometallurgischen Forschungsarbeiten

haben aber eines bereits sehr deutlich gezeigt: Die Rekonstruktion früherer Hüttenprozesse als ein Teilaspekt der gesamten Abfolge der Metallgewinnung – Lagerstätte, Bergbau, Aufbereitung, Hüttenwesen – ist auf die Zusammenarbeit verschiedener auf das Thema spezialisierter Wissenschaftler angewiesen: Metallurgen, Archäologen, Bergleute, Lagerstättenkundler und Mineralogen.

Anmerkungen

¹ Ein sehr guter Überblick über die Entwicklung der Eisen- und Kupfermetallurgie ist z.B. bei WERTIME, T.A., *The Pyrotechnological Background*. In: WERTIME, T.A. & MUHLY, J.D. (Hrsg.), *The Coming of the Age of Iron, New Haven & London, 1980, S. 1–24* zu finden.

² Vgl. hierzu die Aufstellung von WALDBAUM, J., *The first Archaeological Appearance of Iron and the Transition of the Iron Age*. In: Wertime, T.A. & Muhly, J.D., *The Coming of the Age of Iron* S. 69–98.

³ Als älteste Funde aus meteoritischem Eisen werden z.Zt. drei kleine Eisenkugeln von Tepe Sialk, Periode II (=ca. 4600–4100 v.Chr.) angesehen. Vgl. GIRSHAM, R., *Fouilles de Sialk*. In: *Musée de Louvre, Dépt. des Antiquités Orientales, Série Archaeologique, 5, Paris 1939, S. 206*.

⁴ Zu Funden von Stahlartefakten in Jordanien und in Ländern des Nahen Ostens vgl. SMITH, R.H., MADDIN, R., MUHLY, J.D. & STECH, T., *Bronze Age Steel from Pella, Jordan*. In: *Current Anthropology, 25, 1984, S. 234–236*; MADDIN, R., *Early Iron Metallurgy in Cyprus*. In: MUHLY, J.D., MADDIN, R. & KARAGEORGHIS, V. (Hrsg.), *The Early Metallurgy of Cyprus, 4000–500 BC. Nicosia 1982, S. 303–314*; STECH-WHEELER, T., MUHLY, J.D., MAXWELL-HYSLOR, K.R. & MADDIN, R., *Iron at Taanach and*

early iron metallurgy in the eastern Mediterranean. In: *Amer. Journal of Archaeology*, 85, 1981, S. 245–268.

⁵ OSANN, B., *Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung. Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Fachausschussbericht 9.001, Düsseldorf 1971.*

⁶ SPERL, G., *Mdl. Mitt. in: FRISCH, B., MANSFELD, G. & THIELE, W.-R., Kamid el-Loz, Bd. 6: Die Werkstätten der spätbronzezeitlichen Paläste. In: Saarbrücker Beiträge z. Altertumskunde*, 33, 1985, S. 161.

⁷ STRAUBE, H., *Beitrag zur antiken Stahlherzeugung im Raume Kärnten. In: Radex-Rundschau*, 1973, S. 479–498.

⁸ V.d. MERWE, N., *The Advent of Iron in Africa. In: The Coming of the Age of Iron*, S. 463–506; SCHMIDT, P. & AVERY, D.H., *Complex Iron Smelting and Prehistoric Culture in Tanzania. In: Science*, 201, 1978, S. 1085–1089.

⁹ Vgl. FRISCH, B., MANSFELD, G. & THIELE, W.-R., 1985.

¹⁰ Hier handelt es sich um ein Forschungsvorhaben des Institutes of Archaeology and Anthropology, Yarmouk University, Irbid, Jordanien, vgl. auch KNAUF, E.A., *Antiker Eisenbergbau und alte Eisenverhüttung im Ajlun. In Vorb. Die metallurgischen Funde werden z.Zt. im Deutschen Bergbau-Museum Bochum untersucht.*

¹¹ Vgl. PHOTOS, E., *Iron Metallurgy in Thasos: A Preliminary Report. In: Abstr. Symposium on Archaeometry, Washington, 1984, S. 108. Hierzu sind Untersuchungen von PHOTOS, E. und TYLECOTE, R.F., Institute of Archaeology, London, im Gange.*

¹² Vgl. hierzu BACHMANN, H.G., *The Identification of Slags from Archaeological Sites. In: Inst. Archaeology Occasional Papers*, 6, London 1982; KEESMANN, I., BACHMANN, H.G. & HAUPTMANN, A., *Parageneses and Norm-Calculation in Iron-rich Slags. In Vorbereitung; HAUPTMANN, A., 5000 Jahre Kupfer in Oman, Bd. 1: Die Entwicklung der Kupfermetallurgie vom dritten Jahrtausend bis zur Neuzeit. In: Der Anschnitt, Beih. 4, 1985; SALTER, C.J. & PHOTOS, E., *Phase Characterisation in Slags: A**

Reappraisal. In: Abstr. Symposium on Archaeometry, Washington, 1984, S. 122.

¹³ Als Beispiel mögen hier aus der Kupfermetallurgie die verschiedentlich auftretenden Cu-Fe-Legierungen genannt werden, vgl. hierzu HAUPTMANN 1985. In der Eisenmetallurgie wurden, leider nicht ganz richtig, die Phasenumwandlungen von Quarz nach Cristobalit diskutiert, vgl. FRIEDE, H.M., HEJJA, A.A. & KOURSARIS, A., *Archaeometallurgical Studies in Iron Smelting Slags from Prehistoric Sites in Southern Africa. In: J. South African Inst. Min. Metall.*, 2, 1982, S. 38–48.

¹⁴ THOLANDER, E., *Temperature determination results in main types of furnaces used in early iron-making. In: Abstr. Symposium on Archaeometry, Washington, 1984, S. 142.*

¹⁵ Vgl. hierzu die experimentellen Untersuchungen im System Fe-Si-O von EUGSTER, H.P. & WONES, D.R., *Relations of the Ferruginous Biotite, Annite. In: J. Petrology*, 3, 1962, S. 82–125; zur Anwendung auf Schlacken vgl. HAUPTMANN 1985.

Erz des Himmels – Die Eisenerzeugung in den alten Hochkulturen des Mittelmeerraumes bis zum Frühmittelalter

Dr. Peter F. Tschudin, Riehen/Basel

1. Einführung

Der römische Dichter Ovid, der zur Zeit des Augustus (63 v.Chr.–14 n.Chr.) lebte, schildert am Anfang seiner Sammlung von Verwandlungsgeschichten die Schöpfung der Welt und des Menschen. Die Geschichte der Menschheit wird in vier Zeitalter gegliedert, die allesamt nach Metallen benannt sind. Auf das erste, paradisiache goldene Zeitalter folgt das silberne, dann das eherne (bronzene), das bereits Waffen kennt, und als letztes, schlimmstes, das eiserne Zeitalter. Der Eisenzeit werden alle Übel angelastet: Meineid, Betrug, Mord, Krieg, aber auch Grundeigentum, die Schifffahrt und der Bergbau¹.

Diese negative Wertung des Eisens, das doch als Gebrauchsmetall aus dem damaligen Alltag nicht wegzudenken war, erstaunt für unsere Fragestellung ebensowohl wie die Tatsache, dass nachweislich das Eisen schon sehr lange vor der von uns so bezeichneten Eisenzeit in vielen Kulturen bekannt war. Dadurch wird klar, dass die aus der altgriechischen Geschichtsauffassung übernommene Fragestellung nach einem möglichst mit Namen zu benennenden «Erfinder» des Eisens ad absurdum geführt wird.

Um die der an dieser Tagung besonders interessierenden Archäometrie zuzuweisenden Aufgaben besser definieren zu können, sei im folgenden versucht, mit der gebotenen Kürze, die das Eisen in den alten Hochkulturen betreffenden Angaben zu sam-



Mittelalterliches Eisenbergwerk (aus: *Agricola, De re metallica*, Basel 1556)

meln und mögliche Schlüsse, aber auch offene Fragen aufzuzeigen. Zunächst sei von der sprachwissenschaftlichen Methodik, sodann von der herkömmlichen Archäologie und schliesslich von den schriftlich erhaltenen Quellen die Rede. Die Zusammenfassung aller Resultate und die Berücksichtigung von wirtschaftsge- schichtlichen, sozialgeschichtlichen und machtpolitischen Fragestellungen werden schliesslich erlauben, die Rolle und Aufgabenstellung der Archäometrie besser zu erkennen. Als zeitliche Grenze zur jüngeren europäischen Entwicklung wurde das Frühmittelalter gewählt.

2. Sprachgeschichtliche Überlegungen

In den frühmesopotamischen Hochkulturen werden in Wort und Schrift Kupfer und Bronze streng unterschieden. Das ganz selten erwähnte Eisen hingegen erhält den Namen «Kupfer des Himmels». Als Lehnwort, dessen Herkunft nicht mit Sicherheit feststeht, finden wir den Ausdruck *barzillu* für Eisen im Phönizischen und Hebräischen; dieses Wort könnte – unter Beachtung der zu erwartenden Lautverschiebungen – zum lateinischen *Ferrum* geworden sein, von dem alle romanischen Bezeichnungen für Eisen sich ableiten.