

DIE VERARBEITUNG DES KUPFERSCHIEFERS IM SPESSART

Der Erzbergbau im Spessart besaß im Vergleich mit den klassischen Bergbaugebieten wie Harz, Mansfeld oder Erzgebirge stets nur regionale Bedeutung; für die Landesfürsten und die Spessarter Bevölkerung jedoch stellten Bergbau und Metallverarbeitung wichtige Einnahmequellen dar.

Die noch vorhandenen Überreste und schriftlichen Quellen wurden bisher nur wenig zur Erforschung des Spessarter Montanwesens herangezogen. Nach Bestandsaufnahme und Auswertung der Quellen erwies sich das Material als so umfangreich, daß eine Beschränkung auf den Metallergbergbau angebracht schien.

Für die montanhistorischen Untersuchungen wurden als Schwerpunkte gewählt:

- Montangeschichte (Betriebsgeschichte der einzelnen Werke, wirtschaftliches und soziokulturelles Umfeld)
- Technikgeschichte (Art und Umfang der technischen Anlagen in den Berg- und Hüttenwerken)
- Schlackenuntersuchungen (phasenanalytische und chemische Untersuchungen an den aufgefundenen Schlacken)

Metallergbergbau ging im Spessart an mehreren Stellen um. Sieht man von der Sommerkahler Gangvererzung und dem Laufacher Kupferbergbau ab, so war stets Kupferschiefer (bzw. Kupferletten) Gegenstand des Bergbaus. Der Kupferschiefer streicht im Liegenden des Zechsteindolomits am Geländeanstieg vom kristallinen Vorspessart zum Hochspessart (Buntsandstein) aus; bei Bieber führten tektonische Vorgänge zu seiner oberflächennahen Lagerung (Abb. 1). Die Erzführung besteht aus fein verteiltem Fahlerz, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies u. a.; durchschnittlich beträgt der Metallgehalt des Kupferschiefers 0,65% Cu, 0,7% Pb und 0,005% Ag; stellenweise finden sich jedoch stark angereicherte Partien¹.

Montangeschichte

Eine erste, urkundlich belegte Hütte im Spessart stand um 1400 an der Schandelmühle bei Gelnhausen; sie verarbeitete am nahen Rauenberg gebrochene Erze². Nachdem dieser Betrieb innerhalb kurzer Zeit eingegangen war, fehlen für die folgenden 300 Jahre urkundliche Belege für weiteren Bergbau. Zwar ergehen mehrere Bergwerksverleihungen und Bergfreiheiten; politische Querelen, strittige Besitzverhältnisse und der hohe Investitionsaufwand brachten aber alle Bemühungen um Aufnahme von Bergbautätigkeit schnell zum Erliegen³.

Erst ab der Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert lassen sich wieder bergbauliche Aktivitäten nachweisen, getragen vor allem vom Interesse der Territorialherren an einer eigenen Metallversorgung. Das sich zu dieser Zeit durchsetzende Direktionsprinzip sowie die landesherrliche Finanzkraft führten im 18. Jahrhundert zur Blüte der Werke bei Bieber und Huckelheim.

In Bieber – auf hanauschem bzw. hessen-kasselischem Gebiet – ging ab etwa 1700 Metallergbergbau um. Die dort tätige Gewerkschaft, bestehend aus höherer Beamtschaft, Adel und Kaufleuten, betrieb um 1720 eine Hütte, die jedoch schon wenige Jahre später einging. Nach mehrmaligem Besitzerwechsel wurde das inzwischen eingegangene Werk 1737 durch den hessischen Landgrafen Wilhelm VIII. verstaatlicht und seit 1741 unter Bergmeister Johann Heinrich Cancrin, später unter seinen Söhnen J. Phillip und F. Ludwig⁴, großzügig ausgebaut. Nun setzte eine Intensivierung in allen Arbeitsprozessen ein:

¹ Bücking, H. 1892.

² Schlosser, H. 1963.

³ Backhaus, W. u. Weinelt, W. 1967.

⁴ Speziell zu Bieber: Cancrin, F.L. v. 1787.

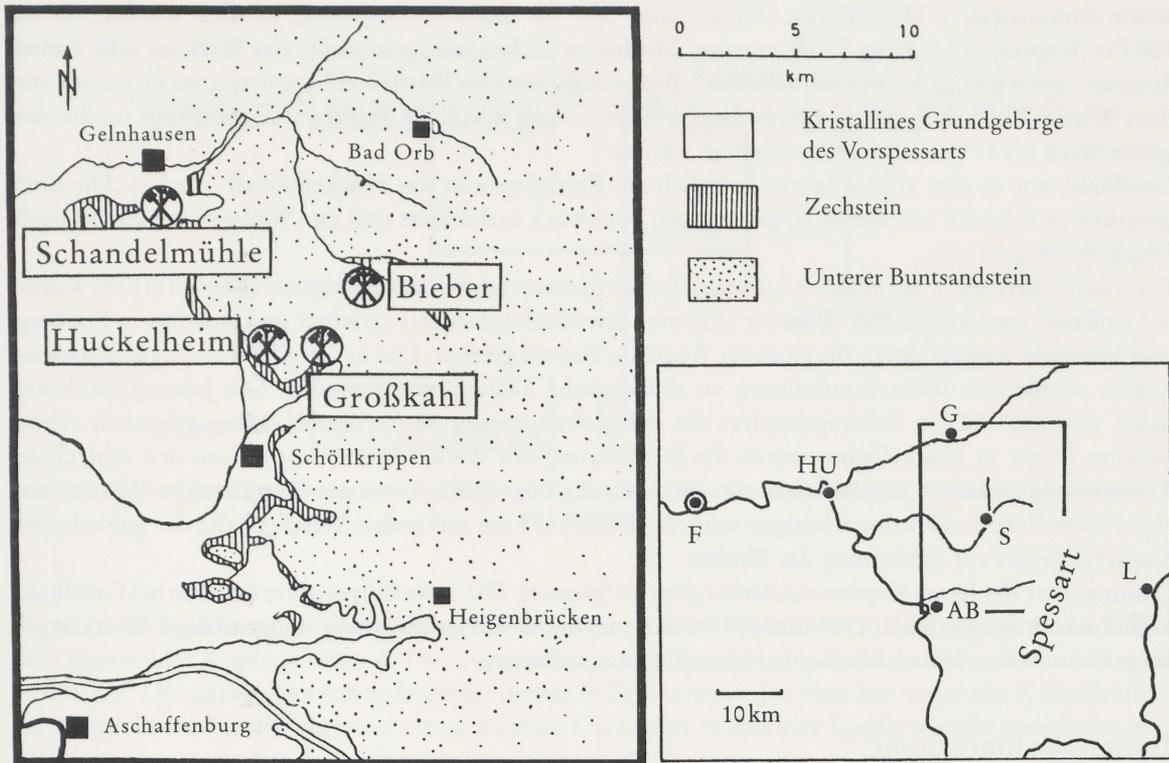


Abb. 1 Lage der Kupferschieferhütten im Spessart.

systematische Prospektionsarbeiten, planmäßige Aus- und Vorrichtung, Pumpenkünste zur Wasserhaltung, größere Aufbereitungsanlagen und leistungsfähigere Öfen ermöglichten ökonomischere Produktionsabläufe.

Der Erfolg ließ nicht auf sich warten: bei einer Jahresproduktion von bis zu 500 Ztr. Kupfer, 300 Ztr. Blei und 230 kg Silber flossen bis zu 20000 Gulden jährliche Ausbeute den Staatskassen zu; zwischen 400 und 500 Personen arbeiteten im Bieberer Werk.

In den 1780er Jahren verschlechterte sich die Erzbasis; wirtschaftliche Veränderungen (ansteigendes Lohnniveau, Wegfall bäuerlicher Frondienste) und die sich abzeichnenden politischen Umbrüche unter Napoleon führten 1803 zur Schließung des Kupferschieferbergbaus⁵. Kobalt- und Eisenerzbergbau gingen noch bis 1867 bzw. 1925 um.

In Huckelheim, wo sich erstmals um 1720 ein unbedeutender Eigenlehnerbergbau nachweisen läßt, wurden ab 1750 mehrmals Privatpersonen und kleinere Gewerkschaften tätig⁶. Keines dieser Unternehmen kam jedoch über einen Versuchsbergbau hinaus; fast durchweg dienten die verliehenen Grubenfelder Spekulationszwecken. Schon kurz nach der Unternehmensgründung sahen sich geprellte Gewerke oder andere gutgläubige Geldgeber – meist Beamte, Adlige oder Handelsherren – außerstande, ihren finanziellen Verpflichtungen nachzukommen. Langwierige Prozesse, um ihren Lohn gebrachte Bergleute und der Verfall der häufig unsachgemäß angelegten Gruben waren die Folge.

Zuletzt nahm 1776 eine private Gewerkschaft den Bergbau auf Kupferschiefer auf; als auch dieser 1780/81 der Konkurs drohte, verstaatlichte der Territorialherr, Graf von Schönborn zu Wiesentheid, den Betrieb. Wie in Bieber wurde nun ein ausgebildeter Bergmeister, J. Heinrich Schönauer, mit der Leitung des Huckelheimer Bergbaus beauftragt. Ein planmäßiger Ausbau der Grube, die Erweiterung der Hütte

⁵ Spruth, F. 1979.

⁶ Staatsarchiv Würzburg, Schönborn-Archiv, Special-

Repertorium Amt Krombach (1784), »Huckelheim«: B 3 96.V.

sowie administrative Maßnahmen führten auch hier zu einem Aufschwung; jährlich wurden bis zu 100 Ztr. Kupfer und 5-10 kg Silber erzeugt. Mit bis zu 70 Beschäftigten stellte das Werk im sehr armen Spessart eine wichtige Verdienstquelle dar⁷. Aufgrund eines von Kurmainz angestrebten Prozesses vor dem Wiener Reichshofrat wegen Gewässerverschmutzung durch die Aufbereitungsabgänge mußte das ganze Werk bis 1791 vollständig stillgelegt werden⁸.

Großkahl war in den 1780er Jahren lediglich ein Betriebspunkt des Huckelheimer Werkes. Die dort gefördert Schiefer wurden in einem eigenen Pochwerk zerkleinert und zur Weiterverarbeitung nach Huckelheim gebracht.

Erst nach Übernahme des ehemals kurmainzischen Spessarts durch das Königreich Bayern (1814) wurde in Großkahl vom bayerischen Staat bis 1820 eine Schwarzkupferhütte errichtet und von dem in Freiberg und Mansfeld ausgebildeten Bergmeister Augustin Bezold geleitet. Das in Großkahl erzeugte Schwarzkupfer wurde zur Weiterverarbeitung an thüringische Saigerhütten verkauft. Die Jahresproduktion belief sich auf 100 Ztr. Schwarzkupfer; die Belegschaft betrug 30 Personen⁹. Hier, wie auch schon 40 Jahre früher in Huckelheim, wurde die Fortführung des Werkes immer wieder mit den schlechten Erwerbsmöglichkeiten für die Spessarter Bevölkerung begründet. Trotz der Bemühungen Bezolds um eine rationellere Produktion zwangen schließlich um 1835 die sinkenden Metallgehalte des gefördert Kupferschiefers zur Schließung des Werkes.

Damit endete der letzte Kupferschieferbergbau im Spessart. Die Aufwältigung der Gruben bei Großkahl und Huckelheim zwischen 1915 und 1918 war durch die Metallverknappung während des I. Weltkrieges ausgelöst worden, jedoch blieb es bei Untersuchungsarbeiten.

Technische Einrichtung¹⁰

Zum Abbau des Kupferschiefers bediente man sich der üblichen Krummhälserarbeit im Strebau: die Schiefer wurden liegend mit Keilhau und Kratze hereingewonnen, zu den Förderschächten transportiert und dort mittels Handhaspel zutage gefördert. Maschinelle Förderung gab es im Spessarter Kupferschieferbergbau nicht.

Wo keine Wasserlösungsstollen angelegt waren, bewältigte man die Wasserhaltung durch manuelles Schöpfen. Erst als das Vordringen in größere Teufen notwendig wurde, begann man in Bieber Pumpenkünste anzulegen. Zur Energieversorgung der Pumpen, aber auch der Aufbereitungsanlagen und Hütten, diente ein System von Teichen und Hanggräben zur Speicherung und Verteilung der Aufschlagwasser.

Zur Verarbeitung muß der Spessarter Kupferschiefer aufbereitet werden. Zum ersten Zerkleinern dienten Naßpochwerke; deren Austrag wurde im Schußgerinne einer Reinigung unterzogen. Das dabei gewonnene Vorkonzentrat wurde geschlämmt, die gewonnenen Grabenschliche auf Kehrherden zum fertigen Schliech verfeinert. Die Zwischenprodukte des Schlämmprozesses wurden in weiteren Arbeitsgängen ebenfalls zu Schliech oder zu geringhaltigerem Konzentrat, den Aftern, verarbeitet.

Schliech und Aftern waren die eigentlichen Konzentrate, die die Hütten verarbeiteten.

Durch die Eigenart dieser naßmechanischen Aufbereitung reicherten sich in den Schliechen die dichteren Bestandteile des Kupferschiefers, wie z. B. der überwiegende Teil der ausbringbaren Erze und der stets vorhandene Schwerspat, an. Die Aftern enthielten auch Erze, jedoch mit den leichteren Bestandteilen vermischt. Trotz großer Anstrengungen bei dieser Aufbereitungstechnik, mehrfach wiederholter Arbeitsgänge und der nochmaligen Verarbeitung der Abgänge mußten Verluste bis zu etwa 90% des im Kupferschiefer enthaltenen Metallgehaltes hingenommen werden!

Eine direkte Verhüttung wie in Mansfeld ohne Aufbereitung erlaubten die geringen Metallgehalte im

⁷ Ebd. XX 592 und B4 105 XIV.

⁸ Ebd. B4 104 XIII.

⁹ Bayer. Hauptstaatsarchiv München, Bestand BHS, Nr. 173.

¹⁰ Neben den von Cancrin (Anm. 4) genannten Archivalien!

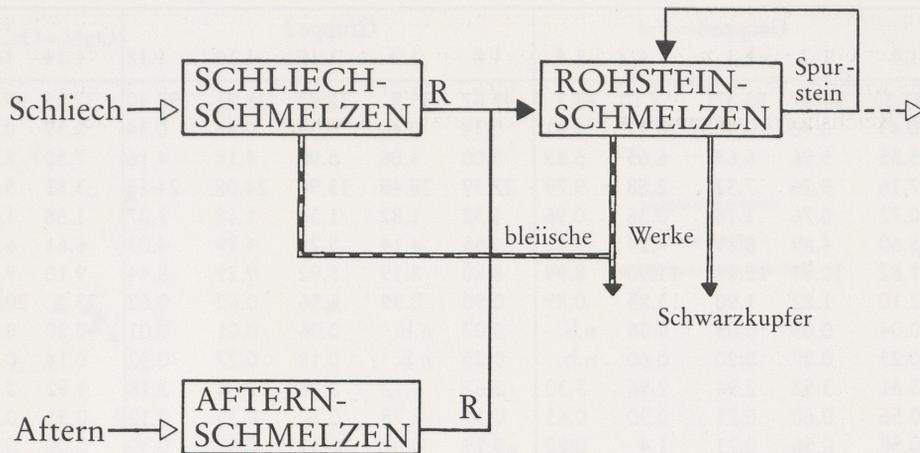


Abb. 2 Die Verfahren der Konzentratverhüttung und die Produkte; vor dem Rohsteinschmelzen wurde der Rohstein (R) geröstet.

Spessart nicht; eine zu große Belastung der Öfen mit taubem Material wäre die Folge gewesen. Führte der Mansfelder Kupferschiefer 2-3% Cu, so waren es im Spessart im jahrelangen Durchschnitt nur um 0,4% Cu. Der ausbringbare Kupfergehalt betrug in Bieber im 18. Jahrhundert sogar nur 0,2%! Mußten in Mansfeld zur Gewinnung von einem Zentner Garkupfer 70 Zentner Kupferschiefer verarbeitet werden, so waren es im Spessart z. T. zwischen 500 und 600 Zentner.

Die Folge dieser aufbereitungstechnischen Probleme – vor allem der Gewässerverschmutzung – waren mehrmals Prozesse mit dem Ziel der Schließung der Berg- und Hüttenwerke¹¹.

Dagegen fielen die Metallverluste bei der Verhüttung gering aus, was auf einen ausgereiften Verhüttungsprozeß und dessen fachgerechte Handhabung hinweist. Die Hütten besaßen meist zwei Schachtöfen Mansfelder Bauart für die Roharbeit; zur Weiterverarbeitung der Hüttenprodukte standen Frisch- und Saigeröfen, Darröfen und Garherde sowie Abtreib- und Feinbrennöfen zur Verfügung.

Von den technischen Einrichtungen ist wenig erhalten geblieben; die Bieberer Teiche, Reste von Hanggräben, Pingen und Halden bei Bieber und Großkahl sowie einige Gebäude bilden die einzigen Überreste des Metallerzbergbaus im Spessart.

Die Verhüttungsprozesse¹²

Alle Hütten im Spessart arbeiteten nach dem Röst-Reduktionsverfahren (Abb. 2).

Die Konzentrate (Schliech und Aftern) wurden zunächst mit gebranntem Dolomit und Wasser eingebunden, d. h. pelletiert, um nicht den Ofen zu verstopfen.

Daraufhin wurden die eingebundenen Konzentrate getrennt mit Holzkohle und Zuschlägen im Schachtöfen niedergeschmolzen (Abb. 2). Als Resultat dieses Schliech- bzw. Afterschmelzens erhielt man bei beiden Verhüttungsprozessen ein verunreinigtes Kupfer-Eisen-Blei-Sulfid, den Rohstein. Der erhaltene Rohstein wurde zur Entschwefelung abgeröstet. Beim anschließenden Rohsteinschmelzen (Konzentrationschmelzen) bildete sich ein kupferreicherer Stein, der Spurstein. Bei vorsichtigem Abrösten lag Kupfer wegen seiner hohen Schwefelaffinität wieder als Sulfid im Spurstein vor; reichte der Schwefel nicht mehr aus, um sämtliches Eisen als Sulfid zu binden, konnte dieses als Silikat verschlackt werden. Der Großteil des Bleis wurde als verunreinigtes Werkblei abgeschieden.

¹¹ Die Angaben entstammen den oben genannten Archivalien sowie Cancrinus, F.L. 1767.

¹² Cancrin (Anm. 4); Staatsarchiv Würzburg, Schönborn-

Archiv XX 592; Bayer. Hauptstaatsarchiv München (Anm. 9).

| Nr. | Gruppe 1 | | | | | Gruppe 2 | | | | | Gruppe 3 | | | | |
|---------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.8 | 1.9 | 1.10 | 1.11 | 1.12 | 1.14 | 1.15 | 2.4 | 2.5 | |
| Gew. % | SiO ₂ | 51.30 | 49.37 | 53.37 | 58.10 | 44.1 | 42.67 | 33.8 | 38.95 | 35.21 | 37.40 | 37.55 | 39.26 | 48.25 | 42.06 |
| | ToO ₂ | 0.43 | 0.40 | 0.47 | 0.47 | 0.41 | 0.34 | 0.42 | 0.39 | 0.43 | 0.34 | 0.39 | 0.40 | 0.39 | 0.34 |
| | Al ₂ O ₃ | 5.85 | 5.86 | 6.67 | 6.65 | 5.85 | 5.00 | 4.06 | 5.98 | 4.18 | 4.16 | 7.50 | 8.78 | 8.42 | 5.84 |
| | FeO | 7.16 | 9.26 | 7.52 | 2.88 | 9.79 | 22.39 | 28.48 | 13.96 | 24.08 | 24.18 | 3.81 | 5.16 | 8.10 | 6.99 |
| | MnO | 0.72 | 0.76 | 1.16 | 0.36 | 0.96 | 1.32 | 1.82 | 1.34 | 1.18 | 1.27 | 1.58 | 1.74 | 1.31 | 1.06 |
| | MgO | 5.60 | 4.89 | 6.89 | 7.24 | 4.22 | 4.55 | 4.14 | 5.21 | 4.19 | 4.03 | 6.61 | 6.49 | 7.02 | 7.01 |
| | CaO | 11.82 | 10.91 | 12.19 | 11.90 | 8.99 | 8.80 | 8.19 | 8.92 | 9.29 | 8.44 | 9.10 | 9.09 | 10.04 | 11.92 |
| | BaO | 2.10 | 1.82 | 1.90 | 3.85 | 0.89 | 0.90 | 0.39 | 6.56 | 0.62 | 0.62 | 23.2 | 20.1 | 10.55 | 13.48 |
| | SrO | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | n.b. | 0.02 | n.b. | 0.06 | 0.01 | 0.01 | 0.20 | 0.13 | 0.15 | 0.18 |
| | Na ₂ O | 0.23 | 0.27 | 0.20 | 0.60 | n.b. | 0.25 | n.b. | 0.18 | 0.27 | 0.32 | 0.14 | 0.17 | 0.28 | 0.25 |
| | K ₂ O | 3.31 | 3.52 | 2.94 | 2.56 | 3.30 | 2.62 | 2.12 | 2.06 | 2.26 | 2.18 | 1.92 | 2.15 | 2.07 | 1.68 |
| | P ₂ O ₅ | 0.56 | 0.60 | 0.75 | 0.30 | 0.63 | 0.11 | 0.78 | 0.20 | 0.35 | 0.12 | 0.31 | 0.26 | 0.19 | 0.25 |
| | Cu | 0.58 | 0.56 | 0.21 | 1.4 | 0.80 | 0.19 | 0.32 | 0.31 | 0.22 | 0.30 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.71 |
| | Zn | 1.26 | 1.51 | 1.24 | 1.07 | 1.75 | 2.9 | 3.36 | 2.6 | 3.24 | 3.61 | 0.15 | 0.25 | 0.20 | 0.40 |
| | Pb | 5.00 | 6.86 | 1.92 | 1.86 | 6.18 | 3.90 | 5.00 | 5.52 | 7.30 | 6.86 | 0.71 | 0.76 | 0.73 | 0.43 |
| | S | 0.31 | 0.06 | 0.32 | 1.00 | 0.01 | 0.41 | 0.33 | 0.49 | 0.34 | 0.38 | 0.76 | 0.58 | 0.59 | 1.41 |
| | Σ | 96.27 | 96.68 | 97.80 | 100.30 | 87.42 | 96.37 | 93.29 | 92.70 | 93.12 | 94.22 | 94.02 | 95.40 | 98.50 | 93.38 |
| ppm | Co | 85 | 145 | 86 | 31 | n.b. | 114 | n.b. | 105 | 125 | 145 | 48 | 66 | 48 | 65 |
| | Ni | 48 | 68 | 46 | 53 | 700 | 48 | 700 | 56 | 50 | < 45 | < 45 | 54 | < 45 | 55 |
| Phasenbestand | | Cpx | Cpx | Cpx | Cpx | G | Cpx | Cpx | Cpx | Cpx | Cpx | Cpx | G | Cpx | Cp |
| | | QtC | G | G | QTC | | Ol | Ol | Ol | Ol | Ol | Cn | | Ol | Cn |
| | | G | | | G | | G | Mt | G | Mt | Mt | G | | G | G |
| | | | | | | | | Cn | | G | G | | | | |
| | | | | | | | | QTC | | | | | | | |

Phasenbestand:

Cpx: Klinopyroxen
 Ol: Olivin
 QIC: SiO₂-Phasen
 Cn: Celsian (Ba-Feldspat)

Mt: Magnetit
 G: Glas
 Fa: Fayalit (ohne Sulfideinschlüsse und unaufgeschmolzene Partien)

Tab. 1 Pauschalanalysen und Phasenbestand von Schlacken. In Spalte 1 sind die während des Produktionsablaufs notwendigen Mengen an Schiefer, Schliech und Hüttenprodukten, bezogen auf einen Zentner Garkupfer, aufgelistet; anhand des prozentualen Kupfergehalts (Spalte 3) ergeben sich die in Spalte 2 eingetragenen absoluten Kupfergehalte. Weitere Erklärungen im Text.

Wurde aber so stark abgeröstet, daß der Schwefelgehalt nicht mehr zur Bindung allen Kupfers in Sulfiden ausreichte, entstand verunreinigtes Kupfer, sogenanntes Schwarzkupfer. War dies der Fall, so setzte man den Spurstein entweder dem Rohsteinschmelzen wieder zu (Huckelheim und Kahl) oder verarbeitete ihn in weiteren eigenen Verfahrensschritten ebenfalls zu Schwarzkupfer (Bieber).

Die bei den einzelnen Prozessschritten entstandenen Schlacken wurden späteren Verhüttungsvorgängen wieder zugesetzt.

Die Weiterverarbeitung des Schwarzkupfers geschah in Bieber durch den klassischen Saigerhüttenprozess: das silberhaltige Schwarzkupfer wurde mit Blei (-oxid) gefrischt. Durch Saigern trennte man das – nunmehr silberhaltige – Blei vom Kupfer. Letzteres wurde einer Refinement durch Darren und Garmachen (selektive Oxidation) unterzogen und kam als Garkupfer in den Handel. Silberhaltiges Blei (Werkblei und gesaigertes Blei) wurde im Brennofen abgetrieben (selektive Oxidation), das gewonnene Silber durch Feinbrennen weiter gereinigt.

In Huckelheim war das Schwarzkupfer zu wenig silberhaltig, es wurde daher nicht gefrischt und gesaigert, sondern sofort zu Garkupfer verarbeitet. Nur aus dem anfallenden Werkblei wurden Silber und Blei gewonnen.

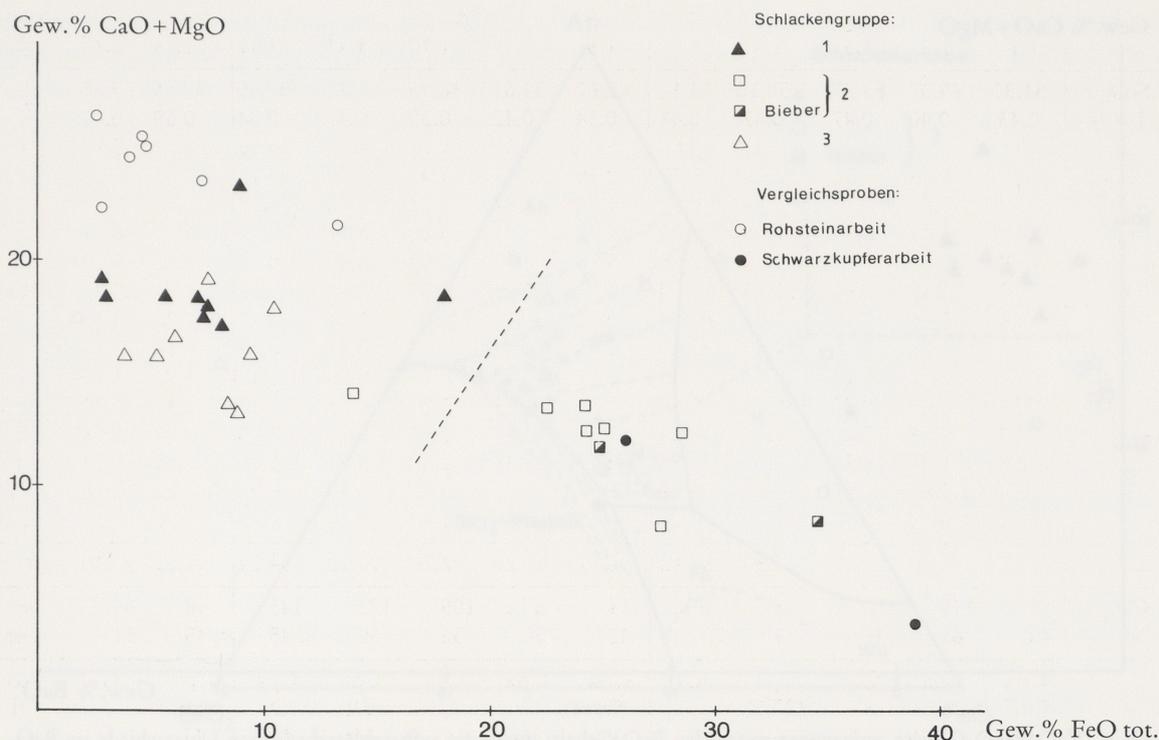


Abb. 3 CaO+MgO-Gehalte in Abhängigkeit vom Gesamteisengehalt: es bilden sich die Schlackengruppen 1+3 und 2 durch die verschiedenen Zuschläge heraus.

Schlackenuntersuchungen ¹³

Schlacken stellen im Spessart neben den schriftlichen Quellen fast die einzigen Zeugen der Kupferschieferhütten dar ¹⁴.

Ziel der mineralogischen und chemisch-analytischen Untersuchung dieser Schlacken war die Zuordnung der Schlacken zu dem aus dem Archivmaterial bekannten Ablauf der Kupferschieferverhüttung.

Die in Huckelheim und Kahl aufgefundenen Fließschlacken ¹⁵ konnten mit Hilfe der chemischen Pauschalanalyse von etwa 30 Proben in drei Gruppen (Tab. 1) eingeteilt werden, die sich auch in Gefüge und Phasenbestand unterscheiden. Zur Differenzierung wurden prozeßtechnische Parameter (Anreicherungsprodukte in den Konzentraten und Zuschlagstoffe bei der Verhüttung) herangezogen: In Abb. 3 wurden die beiden wesentlichen Zuschläge gegeneinander aufgetragen: CaO+MgO aus gebranntem Dolomit (Einbindungsmittel) und Eisen aus in Bieber gekauften Eisenschlacken. Andere, zur Schlackenbildung notwendige Komponenten wie SiO₂ waren in den Konzentraten enthalten.

Deutlich treten in dieser Graphik zwei Bereiche heraus: Schlacken der Gruppen 1 und 3 (links; geringe Eisen-, hohe CaO+MgO-Gehalte) und der Gruppe 2 (rechts; hohe Eisengehalte). Da gebrannter Dolomit nur beim Verarbeiten der Konzentrate, Eisenschlacken aber nur beim Verhütten des Rohsteines zugeschlagen wurden, repräsentieren die Gruppen diese Verfahrensabschnitte. Vergleichsproben aus Mansfeld ¹⁶ bestätigen dies.

¹³ Ausführlich dazu: Freymann, K. 1987.

¹⁴ Das gesamte Hütteninventar wurde nach der Stilllegung versteigert und die Gebäude wurden abgerissen. In Bieber wurden die Reste der Metallerzhütte von der 70 Jahre län-

ger produzierenden Eisenhütte überlagert.

¹⁵ Bachmann, H.-G. 1978.

¹⁶ Stelzner, A. W. u. Bergat, A. 1904.

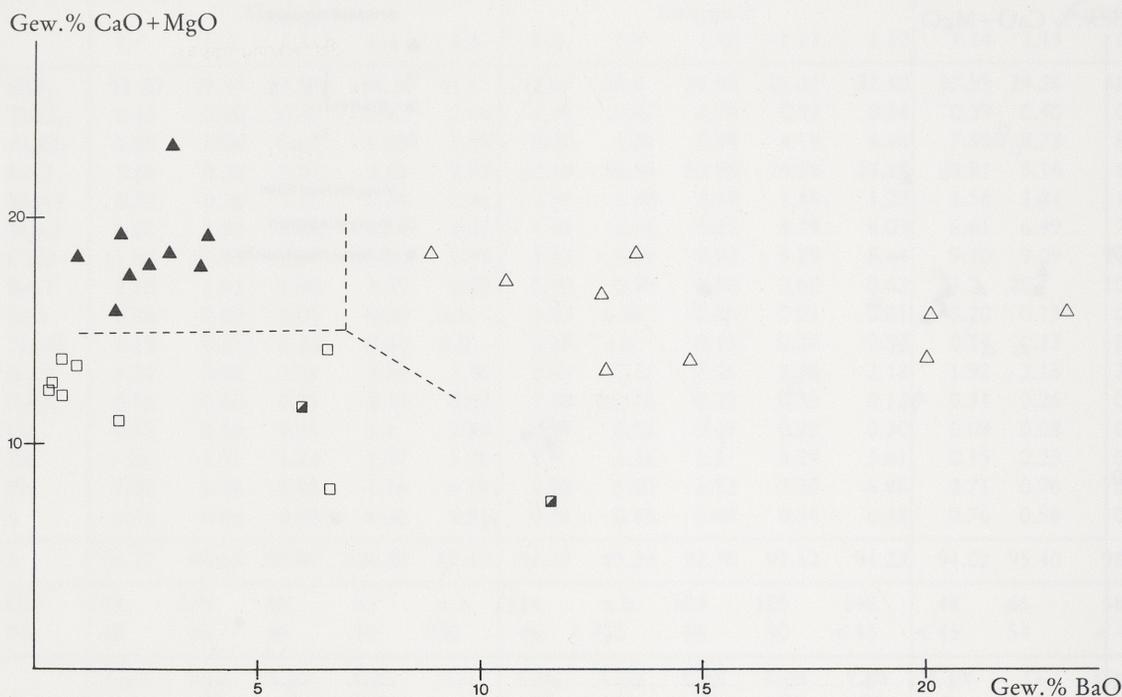


Abb. 4 CaO+MgO-Gehalte, aufgetragen gegen den BaO-Gehalt: durch die aufbereitungsbedingten Unterschiede im BaO-Gehalt lassen sich die Schlacken des Konzentratschmelzens in zwei Gruppen trennen (Signaturen wie in Abb. 3).

Da keine stark metallhaltigen Abfälle der Weiterverarbeitung von Werkblei und Schwarzkupfer gefunden wurden – im eigentlichen Sinne sind dies auch keine Fließschlacken –, genügt eine Beschränkung auf die Verfahrensabschnitte der Roharbeit.

Abb. 4 zeigt den wesentlichen Unterschied der Gruppen 1 und 3, nämlich den hohen Gehalt an BaO der Schlackengruppe 3.

Diese Schlackengruppe 3 entstand beim Schliechschmelzen; der hohe BaO-Gehalt (9-23 Gew.-%) wurde durch die naßmechanische Aufbereitung verursacht, in deren Verlauf Baryt im Konzentrat angereichert wurde. Das Einbindungsmittel bedingte die hohen CaO+MgO-Gehalte.

Die Schlacken sind z. T. glasig, obsidianartig, und waren weitgehend aufgeschmolzen. Ihre »Leichtflüchtigkeit«¹⁷ liegt in der schmelzpunkterniedrigenden Wirkung von BaO begründet¹⁸. Ein anderer Teil der zu dieser Gruppe gehörenden Schlacken ist heterogen, mit glasigen und kristallinen Partien und von grau-schwarzer Farbe. Sie führen kleine Kupfersteineinschlüsse mit den typischen Bornit-Chalkopyrit-Entmischungen; darin enthaltener augenscheinlich primärer Covellin weist auf einen Schwefelüberschuß hin, der durch das nicht abgeröstete Konzentrat verursacht wurde.

Mikroskopisch zeigen die heterogenen Schlacken ein ungleichkörniges und richtungsloses Gefüge von Klinopyroxen und wenig Olivin. Die kaum pleochroitischen Klinopyroxene wurden unter der Mikroskopsonde als (Ferro-)Augite identifiziert.

Die manchmal tellergroßen, nur wenige cm dicken und konkaven Fladen, in denen diese Schlacken vorkommen, beweisen die in den schriftlichen Quellen erwähnte Verwendung von Schlackenherden. Diese gesonderten Herde wurden nur beim Verschmelzen des Konzentrates verwendet.

Die Schlackengruppe 1 besitzt nur geringe BaO-Gehalte (1-4 Gew.-%) bei höheren Buntmetallgehalten; diese Schlacken entstanden bei der Verarbeitung der Aftern. Diesem Prozeßschritt mußten Retour-

¹⁷ Cancrin, F. L. v. 1787a.

¹⁸ Tafel, V. 1951, 323.

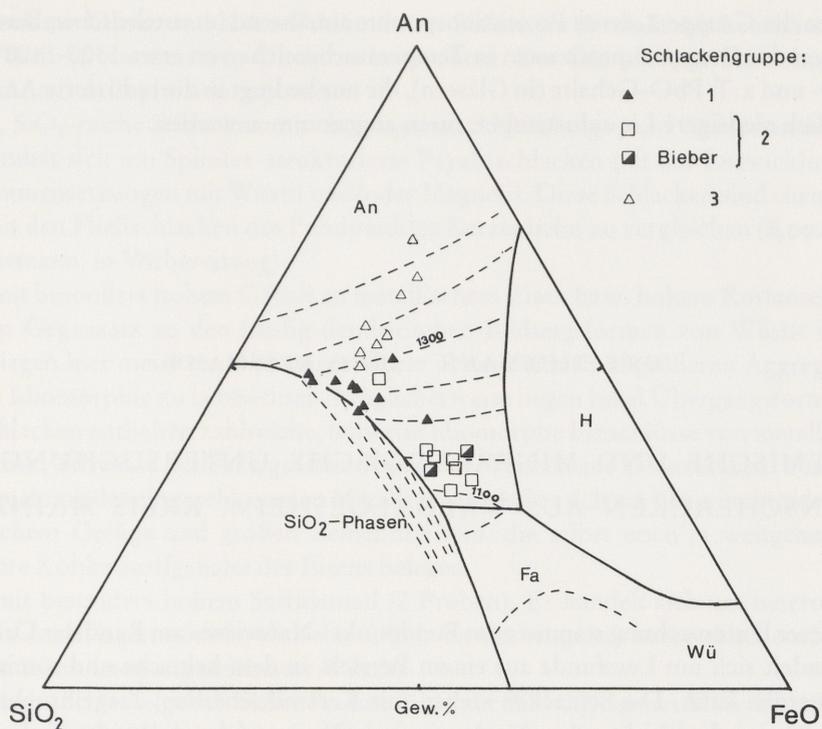


Abb. 5 Lage der Schlacken im System $\text{SiO}_2\text{-FeO}$ -Anorthit (Bachmann 1978) in einer Projektion der Liquidusfläche auf die Konzentrationsebene.

schlacken aus dem Rohsteinschmelzen zugeschlagen werden, da die Aftern sehr strengflüssig waren¹⁹. Daher besitzen diese Schlacken höhere Buntmetall- und Eisengehalte als Schlacken der Gruppe 3. Zu dieser Gruppe gehören wiederum zwei äußerlich verschiedene Schlackenarten: heterogene Schlacken, die in Gefüge und Phasenbestand denen der Gruppe 3 ähneln, und auffallend blaue, seltener rötliche, überwiegend glasige Schlacken. Diese blauen Schlacken werden von den schriftlichen Quellen erwähnt, ebenso die kleinen kristallinen Partien in ihnen. Mikroskopisch erweisen sich diese Partien als rundliche Sphäroide, die im Inneren einen feinen Kristallfilz von Pyroxenoiden besitzen.

Bei der Verarbeitung des Rohsteins auf Schwarzkupfer fielen die Schlacken der Gruppe 2 an. Bei diesen Schlacken handelt es sich um eigentliche Eisensilikatschlacken mit 50-75 Gew.-% FeO (Gesamteisen)+MnO+SiO₂ (Zuschlag von Bieberer Eisenschlacken!), während die Gehalte an CaO, MgO und BaO zwischen 3 und 9 Gew.-% betragen. Die flache Form dieser Plattenschlacken entstand, als zum Schutz des Metallbades im Vorherd stets eine dünne Schlackenschicht auf dem Bad verblieb, die dann von Zeit zu Zeit abgehoben werden mußte. Mit ihren geringen SiO₂-Gehalten besitzen diese Schlacken die niedrigste Viskosität.

Im Dünnschliff zeigen die Plattenschlacken ein ausgeprägtes Spinifexgefüge aus fayalitreichem Olivin (Fa₇₀₋₈₀); in den Kristallwickeln befindet sich Glas, z. T. mit erheblichen PbO-Gehalten bis zu 15 Gew.-% und als Restkristalliat kleine, dendritische Magnetitkristalle.

Als basische Schlacke mit einem engeren plastischen Temperaturbereich schlossen diese Schlacken beim Abstich massenhaft kleinste Sulfidtröpfchen ein, die im Vorherd nicht mehr absaugern konnten. Diese Tröpfchen bestehen aus eisenarmen Kupfer- und Bleisulfiden, wie sie für Spursteine typisch sind.

Die Abschätzung der Schmelztemperaturen (vgl. Anm. 15) (Abb. 5) im Teilsystem FeO-SiO₂-Anorthit zeigt nochmals deutlich die drei Schlackengruppen. Die niedrigsten Liquidustemperaturen besitzen die

¹⁹ Cancrin, F. L. v. 1787, § 169.

Plattenschlacken der Gruppe 2, deren Projektionspunkte annähernd im eutektischen Bereich liegen (um 1100°). Schlacken der Gruppe 3 projizieren in Temperaturbereiche von etwa 1300-1400°C. Angesichts der hohen BaO- und z. T. PbO-Gehalte (in Gläsern), die nur bedingt in die reduzierte Analyse eingehen, müssen wesentlich niedrigere Liquidustemperaturen angenommen werden.

UWE THIEMANN · INGO KEESMANN

CHEMISCHE UND MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN VON EISENSCHLACKEN AUS WALDALGESHEIM, KREIS MAINZ-BINGEN

Das Material dieser Untersuchung stammt vom Fundpunkt »Nauwiese« am Rand der Ortschaft Waldalgesheim. Es handelt sich um Lesefunde aus einem Bereich, in dem keltische und römische Bebauung angenommen werden kann. Die Schlacken stehen mit Keramikscherben, Ziegelbruchstücken u. a. in Fundzusammenhang, jedoch bisher ohne Nachweis eines Ofens, auf den die Herkunft der pyrometallurgischen Abfälle zurückgeführt werden könnte. Insgesamt standen gesägte Scheiben von 15 Proben zur Verfügung¹.

Untersuchungsbefund

Die Schlacken zeigen – in Abhängigkeit von der Richtung des Sägeschnittes – rundliche bis längliche Formen. Äußere Merkmale, die eine Zuordnung zu einem bestimmten Schlackentyp erlauben würden, wie z. B. Fließstrukturen, sind entweder nicht vorhanden oder an den Sägescheiben makroskopisch nicht unmittelbar zu erkennen. In einigen Fällen ist eine Rekonstruktion der ursprünglichen Form jedoch möglich. Die Proben sind durch Verwitterung während der Bodenlagerung teilweise sehr stark überprägt. Dennoch enthalten einzelne Fundstücke noch größere Anteile von metallischem Eisen.

Es handelt sich nach dem Gefüge um fayalitreiche Eisenschlacken. Quantitativ-chemische Pauschalanalysen ergeben einen sehr großen Schwankungsbereich der Hauptbestandteile SiO₂ (8-33 Gew.%) und FeO (Gesamteisen + MnO = 48-82 Gew.%). Bei den Begleitelementen sind insbesondere die Schwankungen im Gehalt an MnO hervorzuheben.

Aus der chemischen Pauschalzusammensetzung und dem Gefüge der untersuchten Schlacken ergibt sich, daß sie nicht in einem einheitlich durchgeführten Prozeß entstanden sein können.

Aufgrund unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung lassen sich vier Gruppen differenzieren:

1. Schlacken mit überdurchschnittlich hohem Mangangehalt. Vier der untersuchten Schlackenproben fallen durch überdurchschnittlich hohe MnO-Gehalte bis etwa 10 Gew.% auf. Dieser gegenüber den anderen Schlacken vom selben Fundplatz drei- bis fünffach überhöhte Manganoxidgehalt weist auf die Verwendung der in unmittelbarer Nähe vorkommenden manganreichen Erze hin. Es handelt sich um olivinreiche Schlacken mit Wüstitkristallisation nach der des Olivins, bzw. kotektisch mit Olivin

¹ Herrn Hochgesandt, Waldalgesheim, der die von ihm gesammelten Lesefunde für die Untersuchung zur Verfügung stellte, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Ebenso danken wir Herrn Dipl.-Geol. Maurer, München, für die uneigennützig bereitgestellte der gesägten Proben.