

Hochmittelalterliches Montanwesen im sächsischen Erzgebirge und seinem Vorland

Ein Vorbericht

Eckstein, K., Rehren, Th. & Hauptmann, A. (1994): Hochmittelalterliches Montanwesen im sächsischen Erzgebirge und seinem Vorland - **Die Gewinnung von Blei und Silber** - *Der Anschnitt* 46, 122-132

Das sächsische Erzgebirge und sein Vorland waren bis in das 12. Jahrhundert hinein weitestgehend unbesiedelt. Erst im Zuge der bäuerlichen Kolonisation während der deutschen Ostsiedlung wurde das Gebiet nach 1150 verhältnismäßig schnell erschlossen. Es entstanden mehr oder weniger große Reihendörfer mit Waldhufenflur. Bereits um 1200 hatte die Besiedlung den Kamm des Erzgebirges erreicht. Außer für Freiberg, wo um 1168 unmittelbar nach der Rodung in der Flur von Christiansdorf silberhaltige Erze entdeckt worden waren, finden sich in dieser Region keine weiteren Beweise für Edelmetallbergbau im 12. Jahrhundert. Alle bislang bekannten urkundlichen und archäologischen Belege stammen erst aus den beiden folgenden Jahrhunderten. In dieser Zeit hatte allerdings der Bergbau das gesamte Gebiet überzogen¹.

Die planmäßige archäologische Erforschung des hochmittelalterlichen Silber- bzw. Blei-/Kupferbergbaus im Erzgebirge bzw. seinem Vorland begann mit den Ausgrabungen der damals noch weitestgehend zeitlich und teilweise auch funktionell unbekanntem Bodendenkmäler am Treppenhauer bei Sachsenburg (Lkr. Mittweida) im Jahre 1977. Danach wurden die Untersuchungen auf den gesamten Raum des mittleren und westlichen Erzgebirges ausgedehnt, wobei insbesondere am Ullersberg bei Wolkenburg (Lkr. Glauchau) und Hohen-

forst bei Kirchberg (Lkr. Zwickau) weitere Grabungen stattfanden. 1990 waren die Arbeiten zunächst zu einem gewissen Abschluß gekommen².

Eine wichtige Erkenntnis der archäologischen wie archivalischen Forschungen war, daß mit den hochmittelalterlichen bergbaulichen Aktivitäten die Entstehung von Siedlungen in der Nähe der montanen Produktionsstätten einherging. Parallel zur Entwicklung von Orten mit zentralen Funktionen für die ländliche Umgebung zu Städten entstanden in den einzelnen Bergbaugebieten, die in sich abgeschlossene Bezirke bildeten, aus den Montansiedlungen Bergstädte, die zentrale Funktionen für die umliegenden Bergwerke besaßen. Dort befand sich der Sitz des Bergmeisters, der dem genossenschaftlich organisierten Bergbau vorstand, und dort war außerdem die Pfarrkirche der Berggemeinde, die außerhalb der bäuerlichen Gemeinden und Grundherrschaften stand. Der größte Teil dieser Bergstädte wurde mit dem Niedergang des Bergbaus verlassen und wüst.

Seit zwei Jahren haben diese Untersuchungen ihre Fortsetzung im Rahmen eines Forschungsprojektes gefunden, das 1995 zum Abschluß gelangen soll³. Angestrebt wird eine Übersicht über alle noch vorhandenen Relikte. Die Auswertung des Fundkataloges soll ein überschaubares Areal oder zumindest ein-

zelne Objekte ergeben, um anschließend umfassendere Forschungen zur Montanarchäologie und Archäometallurgie betreiben zu können.

Nunmehr handelt es sich um ein wesentlich erweitertes Areal, das sich auf die jetzigen, aus der kommunalen Gebietsreform hervorgegangenen Landkreise Freiberg und Mittweida erstreckt. Während zuvor schon geophysikalische Methoden angewandt wurden⁴, können jetzt auch die Schlacken systematisch untersucht werden ebenso wie die technische Keramik und die Metallfunde. Obwohl das Projekt primär auf das Hochmittelalter ausgerichtet ist, werden auch Fragen Urgeschichtlichen Bergbaus nicht außer acht gelassen, da die berechnete Vermutung besteht, daß im Erzgebirge und seinem Vorland bereits in der Bronzezeit Erze gewonnen wurden⁵.

Die folgenden drei Beiträge schildern in einer Gesamtschau die bislang erzielten Arbeitsergebnisse. Wolfgang Schwabnick befaßt sich mit der Ausgangsregion des gesamten Forschungsprojektes, wofür der Bergbezirk Bleiberg zwischen Frankenberg und Mittweida als Synonym für das Erzgebirgsvorland steht; Uwe Richter stellt die Untersuchungen im zuvor weitgehend ausgespart gebliebenen Raum Freiberg dar, während Kerstin Eckstein, Thilo Rehren und Andreas Hauptmann die metallurgischen Aspekte behandeln.

Der Treppenhauer und das Erzgebirgsvorland

Die Siedlungen

Da das Gebiet Mittweida, d. h. die ehemaligen Kreise Rochlitz, Hainichen und Flöha, durch den Verfasser intensiv begangen und bearbeitet worden ist, konnten dort in den letzten Jahren kaum neue Objekte festgestellt werden. Trotzdem wurden auch bei den wiederholten Begehungen bislang unbekannte Erkenntnisse gewonnen. So ließ sich beispielsweise ein kleines Pingenfeld bei Lauenhain durch Keramik eindeutig in das Hochmittelalter datieren.

Am besten durchforscht ist der Bergbezirk Bleiberg bei Sachsenburg/Schönborn im Landkreis Mittweida (Abb. 1), der in Urkunden von 1318 und 1390 genannt wird. An montanen Bodendenkmälern finden sich auf dem Treppenhauer, einer bewaldeten Anhöhe bei Sachsenburg, die Reste einer mittelalterlichen Bergstadt, und auf der anderen Talseite liegt ein weiteres großes Pingenfeld mit Siedlungsresten bei Biensdorf. Darüber hinaus finden sich Pingen und offenbar auch Hausstellen im Hengstbusch sowie in der Biege bei Schönborn.

Die Untersuchungen begannen auf dem Treppenhauer, der früher mit der Burg Hwoznie aus dem 10. Jahrhundert in Verbindung gebracht wurde. Sie ergaben, daß der Graben nicht älter ist als die Bergbausiedlung. Er diente ganz offenbar, wie die mittelalterlichen Landwehren, als Befestigung der Siedlung. Spuren einer Mauer oder Palisade konnten nicht festgestellt werden.

Ursprünglich waren alle Vertiefungen auf der Hochfläche des Treppenhauers als Bergbaureste, d. h. Pingen, gedeutet worden. Wie jedoch durch mehrere Grabungen nachgewiesen werden konnte, handelt es sich bei den flacheren in der Regel um Reste von Grubenhäusern, die in der Anfangsphase der Siedlungen als Wohnstätten dienten. Derartige Grubenhäuser aus dem 13. Jahrhundert sind für mittelalterliche städtische Siedlungen in Sachsen ein Novum; bisherige vergleichbare Funde wurden als Keller gedeutet. Mittlerweile wurden außer am Treppenhauer auch in der wüsten Bergstadt Fürstenberg bei Kirchberg (Lkr. Zwickau), in der Stadtwüstung Schwedengraben bei Zöblitz (Lkr. Marienberg)⁶ und selbst in der Stadt Freiberg sowie in Bergbausiedlungen in der Umgebung Freibergs Grubenhäuser entdeckt.

Bei der Ausgrabung eines Grubenhauses ließen sich die Zugänge zu einem kleinen Schacht und einem schmalen Stollen, der offenbar schräg abwärts führt, entdecken (Abb. 2, 3). Auch wenn bislang keine genaue Datierung möglich war, hat es den Anschein, daß die Grubenbaue älter als das Gebäude sind.

Ein überraschendes Ergebnis brachte die weitere Untersuchung einer relativ großen, von einer Mauer umgebenen Terrasse am Westhang des Treppenhauers, die aus Haldenmaterial aufgeschüttet war. Sie wird als Teil einer Aufbereitungsanlage gedeutet, da in der unmittelbaren Nähe zerbrochene Erzmühlsteine aus braunkohlenquarzitischen Konglomeraten gefunden wurden. Die Abtragung ergab eine tiefer liegende, in den anstehenden Lößlehm eingegrabene Terrasse, in die ein Gebäude eingetieft war (Abb. 4). Wie es scheint, ist es in einer weiteren Phase von einem ebenerdigen Haus überbaut worden, dessen Grundschwelle sich als parallel zu den Seiten verlaufende Gräben im Lößlehm abzeichnete. Das Grubenhaus war dabei nicht zugeschüttet worden wie in anderen untersuchten Fällen, sondern weiterhin als Keller genutzt worden. Vor der von Nordosten aus in das Gebäude führenden Treppe befand sich eine Feuerstelle, die von hochkant aufgesetzten flachen Steinen umgeben war (Abb. 5, 6), vermutlich ein früherer Röstplatz.

Bei den ebenerdigen Häusern, die später die Grubenhäuser ablösten, handelte es sich um Holzbauten. Sie besaßen entweder eine steinerne Grundlage in Form einer das Gelände ausgleichenden Bruchsteinmauer oder waren unmittelbar auf die Oberfläche gebaut. In allen ebenerdigen Häusern befand sich ein steinerner Ofen mit U-förmiger Grundmauer und einem Ofengewölbe aus Lehm und Rollsteinen, das regelmäßig zusammengebrochen war und den Ofenraum ausfüllte. Die Öfen dienten sicherlich zum Heizen und Kochen und offenbar auch zur Anwendung pyrometallurgischer Prozesse im kleinen Maßstab.

Auch in anderen wüsten Bergbausiedlungen der Region ließen sich städtische Merkmale ermitteln. Unter den heute noch vorhandenen mittelalterlichen Montanrelikten ist die Bergbausiedlung im Gersdorfer Wald bei Etzdorf die ausgedehnteste. Hierzu ist eine Sage von der einstigen Bergstadt „Gerschberg“ überliefert, im 19. Jahrhundert sind die Flurnamen „Der alte Marktflleck“ und „Kramerbusch“ belegt. Für den Ullersberg (Ulrichsberg) bei Wolkenburg werden in einer Urkunde von 1352 Brot- und Fleischbänke genannt sowie Kramhandel und das Schrotamt, typische Einrichtungen für städtische Siedlungen.

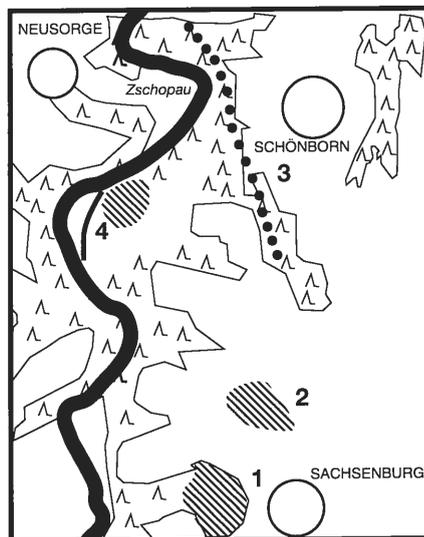
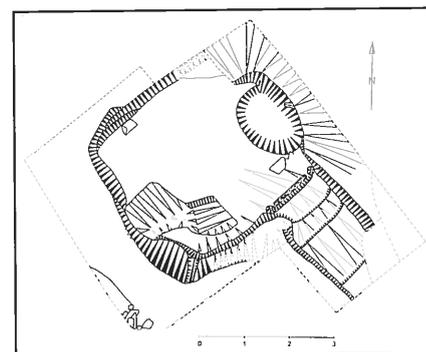


Abb. 1: Bergbauggebiet Sachsenburg/Schönborn. 1 = Bergstadt auf dem Treppenhauer, 2 = Hengstbusch, 3 = Pingenzug bei Schönborn (heute meist eingeebnet), 4 = Schmelzhütte mit Graben

Auch für den Hohenforst (Fürstenberg) sind solche Einrichtungen aufgeführt, ferner das Kirchlehn auf dem Berge in einer Urkunde von 1317. Ein Jahr später heißt es sogar „stat zcu furstenberg“.

In der Umgebung der wüsten Bergstelle Greifenstein bei Ehrenfriedersdorf befinden sich viele Bergbaureste, die mit ziemlicher Sicherheit aus dem Mittel-

Abb. 2–3: Sachsenburg, Treppenhauer. Grubenhaus mit älteren Abbauen (Objekt 6 C/O 2), Planum und Ansicht von Nordwesten



ter stammen dürften. Die Burg Greifenstein war mit dem Bergbau verbunden, wie Funde von tönernen Grubenlampen, Schmelztiegel und Schlacken belegen⁷. Möglicherweise handelt es sich hier um das 1377 in einer Urkunde genannte Bergwerk Ehrenfriedersdorf.

Bergmännische Gewinnung

Als man sich im 18. Jahrhundert bemühte, auch im Zschopautal bei Mittweida und Frankenberg erneut und möglichst mit Erfolg Bergbau zu betreiben, kam es verschiedentlich zu Voruntersuchungen, die aber im wesentlichen alle von einer im Jahre 1759 auf Veranlassung der Stadt Mittweida erstellten, allerdings gefälschten Bergbaugeschichte beeinflusst waren⁸. Der 1785 von Johann Ehrenfried Tölpe im Zusammenhang mit diesen Bemühungen erarbeitete kritische Bericht⁹, der sich vor allem auf Geländebegehungen stützte, enthält Informationen über alte Spuren des Bergbaus, die für die heutigen Untersuchungen wichtig sind. Tölpe erwähnt neben Pingen, Halden und Kunstgräben, die noch im Gelände zu finden waren, „bey Biensdorf, ferne in dem sogenannten Hengstbusche, ohnweit Sachßenburg, wie auch in der Biege in der Nähe von Schönborn, sich vorfindenden kleinen und größeren Schlacken Halden“.

Bei den Pingen handelt es sich um verbrochene Schächte, nicht um kleine Tagebau, wie die ältere Forschung vermutete. Der heutige Bestand an Pingen gibt im wesentlichen die offenen Schächte bei Aufgabe des Bergbaus im 14. Jahrhundert an. Darüber hinaus waren weitere Gruben vorhanden, die aber bereits im 13./14. Jahrhundert wieder verstürzt wurden. Aus der Anordnung der Schächte läßt sich keine Vermessung der Grubenfelder ableiten.

Wiederholt haben sich Überreste alter Stollen im Gelände ausmachen lassen. Erwähnenswert ist beispielsweise ein verbrochenes Stollenmundloch in der Kohlung bei Schönborn, das schon auf einem Revierriß aus dem 18. Jahrhundert eingetragen ist. Keramik in der zugehörigen Halde datiert ihn in das 13./14. Jahrhundert. Um den Treppenhauer am Ende der ersten Bergbauperiode in größerer Teufe zu erschließen, war im 14. Jahrhundert vom Südwesthang her ein Stollen vorgetrieben worden, der nach Ausweis der Funde bis etwa 1400 in Betrieb stand, ohne daß man die erzführende Region erreichte. Im Stollen läßt sich die Technologie des mittelalterlichen Bergbaus nachvollziehen, etwa die Vortriebsweise mit Schlägel und Eisen, die Verwendung des Gelechts und die Förderung mittels Schlitten.

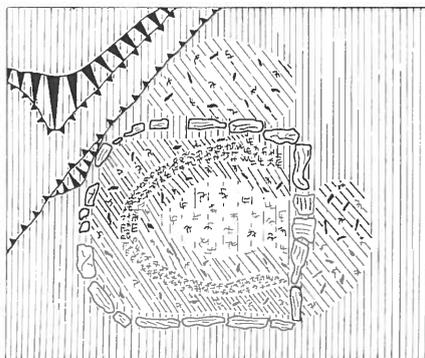


Abb. 4–6: Sachsenburg, Treppenhauer. Grubenhaus mit davorliegender Feuerstelle (Objekt 6 D/O 1), Ansicht von Nordosten, Planum und Ansicht von Nordwesten

Aufbereitung und Verhüttung

Als vielfältig sind die Funde zu bewerten, die Erkenntnisse über die Weiterverarbeitung der gewonnenen Erze zum Metall liefern. Unterlegeplatten, die zum Zerkleinern der Erze dienten, und Bruchstücke von Erzmühlsteinen belegen, daß die Aufbereitung zumindest teilweise innerhalb der Siedlung auf dem Treppenhauer bzw. auf dem Ullersberg durchgeführt wurde. Dort und bei Gersdorf waren zahlreiche Schlacken zum Vorschein gekommen. Teilweise waren sie sogar in größeren Mengen als Halden abgelagert.

Diese Funde hatten zunächst als archäologischer Nachweis für die These¹⁰ gedient, daß die Bergleute in der Frühzeit die Erze selbst verhüttet hätten. Ge-

stützt wurde diese Annahme durch einzelne chemische Analysen, bei denen neben viel Eisen geringe Mengen von Kupfer und Blei gefunden worden waren. Anhand der inzwischen erfolgten eingehenden Untersuchungen konnte dagegen festgestellt werden, daß es sich bei den Schlacken nicht um solche aus der Buntmetallverhüttung handelt, sondern daß sie sämtlich von der Eisenverarbeitung stammen, also Schmiedeschlacken sind. Als Ergebnis läßt sich daher festhalten, daß diese größeren Schlackenansammlungen keine Verhüttungsstellen waren, sondern Schmiedeplätze, die dicht bei den Gruben lagen. Ähnliche Feststellungen treffen beispielsweise auch für den Schwarzwald zu¹¹.

Wichtig für den Gesamtzusammenhang der metallurgischen Prozesse ist die Tatsache, daß 1278 im Bereich um Gersdorf eine Schmelzhütte urkundlich erwähnt wurde, die zugleich den Nachweis dafür liefert, daß im 13. Jahrhundert bereits Schmelzhütten in den Flußtälern angelegt wurden. Im Jahr der Beurkundung gestattete Markgraf Heinrich der Erlauchte dem Kloster Alzella, nachdem er zuvor klösterliche Schmelzhütten hatte zerstören lassen, den Neubau einer Hütte mit zwei Bälgen an der Striegis bei Böhrigen. 1556 wurde dieses „altt Huett Stadel“ mit den alten Schlackenhaufen an einen Thomas Winkler verliehen¹². Nachdem sich noch im 19. Jahrhundert an dieser Stelle zwei Gehölze, der Untere und der Obere Schlackenbusch, befunden hatten, die aber 1869/70 gerodet und danach als Ackerland genutzt wurden, ist heute von der Schmelzhütte aus dem Mittelalter nichts mehr vorhanden. Auffallend sind lediglich große Mengen von Schlacken, die nach wie vor über das Feld streuen.

Eine weitere Verhüttungsstätte im Gersdorfer Gebiet ist 1610 in einem Bergbelehrungsbuch genannt worden, in dem es heißt: „Schlacken Halde vf der Gleisberger Scholtzen Awe genandt/vf des Forwerges zue Görsdorff geholtzen ahn der Mulda gelegen“¹³. Bislang sind jedoch sämtliche Versuche, den Platz im Gelände nachzuweisen, erfolglos geblieben.

Auf einem Revierriß aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts ist in einer Biegung der Zschopau zwischen Schönborn und Sachsenburg gegenüber der Mündung des Krumbacher Dorfbaches und unterhalb des Waldgebietes Kohlung ein „alter tiefer Graben“, wie eigens vermerkt, eingezeichnet. Der Graben ist auch auf dem Meilenblatt vom Ende des 18. Jahrhunderts eingetragen und noch heute im Gelände sichtbar. Im Inventarium des Amtes Neusorge von 1665¹⁴ wird für diesen Ort der Rest eines alten Wehres erwähnt. Diese Fak-

ten ließen es geraten erscheinen, in dem Geländeabschnitt nach einem Verhüttungsplatz zu suchen. Zielgerichtete Begiehungen erbrachten im hängigen bewaldeten Gelände stark verschliffene Hohlwege, die als Verbindung vom Treppenhauer zu dieser Stelle des Zschopautales anzusehen sind.

Die Zschopau, aus Richtung Südosten kommend, biegt hier in nahezu rechtem Winkel nach Nordosten. Unmittelbar im Winkel befindet sich ein ziemlich flacher Gleithang, dessen größte Breite fast 200 m beträgt; dann steigt das Gelände recht steil an. Unmittelbar unterhalb der Biegung liegt zwischen Talhang und Fluß nur wenig über dem Wasserspiegel ein etwa 50 m breiter, flacher Geländestreifen. Der Graben schneidet die Flußbiegung ab. Dort, wo sich der Hang am weitesten dem Fluß nähert, ist deutlich zu beobachten, daß der Graben künstlich in den Hang eingeschnitten ist. Es scheint, als würde der Graben dann weiter am Hangfuß entlang führen. Das Gelände wird heute von einer modernen Forststraße durchschnitten, die einen frühneuzeitlichen Meilerplatz überlagert. Geophysikalische Untersuchungen im Terrain erbrachten keine auswertbaren Ergebnisse.

Bei den Vermessungsarbeiten wurden aber auf der flach geneigten Terrasse unterhalb des Meilerplatzes durch Wildschweine freigelegte Schlacken entdeckt, weshalb dort zwei kleinere Gra-

bungen durchgeführt wurden. Die eine wurde auf der Terrasse durch eine Bodenmulde gezogen, die andere schneidet den Terrassenhang und den vermeintlichen Graben am Fuß der Terrasse. Am Rande der Grube wurde eine unmittelbar unter dem Humus liegende Schlackenschicht entdeckt, die sich ganz offenbar noch in primärer Lagerung befindet. Die Schlacken stammen eindeutig aus der Bleiverhüttung und weisen einen hohen Anteil an Barium auf, was mit dem Zuschlag von Baryt (Schwerspat) zusammenhängen könnte. In dieser Beziehung müssen die kleinen Pingen, die oberhalb der Schlackenfundstelle liegen, betrachtet werden. Hier findet sich auf den Halden sehr viel Baryt, aber keinerlei Spuren von Erz. Man könnte an Abbau von Zuschlagstoffen für die Verhüttung denken. Unklar ist, ob der verbrochene Stollen mit den Pingen in Verbindung steht.

Überraschend waren die Ergebnisse der zweiten Sondierung durch Hang und Graben. Hier zeigte sich oberhalb des Hanges über dem Humus ebenfalls eine dünne Schlackenschicht, die sich den Hang hinunterzog. Es ließ sich nicht klar feststellen, ob die Schlacken bewußt über den Hang gestürzt worden sind oder ob es sich um verrolltes Material handelt. Der Schnitt durch das flache Gelände am Hangfuß ergab, daß der vermeintliche Graben auf natürliche Weise entstanden war.



Abb. 8-9: Sachsenburg, Treppenhauer. Gemauerter Ofen im Grubenhaus (Objekt 6 F/O 9) und Ansicht von Westen

Der flache Streifen zwischen Hang und Ufer der Zschopau ist eine Auelehmbildung, wobei sich in 2 m Tiefe Flußschotter mit eingelagerten Schlacken fand. Die Zschopau war ursprünglich unmittelbar am Hang entlanggeflossen, erst aufgrund der Sedimentation ist ihr Lauf immer weiter abgedrängt worden. Der vermeintliche Graben scheint als Wasserrinne bei Hochwasser ausgebildet worden zu sein. Der wirkliche Graben, der von einer Wasserkraftanlage stammt, mündete schon ca. 50 m oberhalb des Schlackenplatzes in die damalige Zschopau. Der Befund zeigt, daß es seit der Rodung des Erzgebirges und seines Vorlandes im 12. Jahrhundert zu gewaltigen Auelehmbildungen gekommen ist, eine an sich bekannte Tatsache, die aber doch oft nicht genügend Beachtung findet¹⁵.

Dieses Ergebnis ist wichtig für die weitere Suche nach hochmittelalterlichen Schmelzplätzen: Man wird davon ausgehen können, daß die Verhüttungsanlagen nicht unmittelbar im hochwassergefährdeten Gebiet, d. h. unter den heute vorhandenen Auelehmen, gelegen haben. Vielmehr wird man die Terrassen unmittelbar oberhalb der Flußauen ab-suchen müssen.

Die Öfen oder die Reste einer möglichen Schmelzhütte in dem Waldgebiet Kohlung sind bislang nicht gefunden worden. Sie sind wahrscheinlich unmittelbar oberhalb der Schlackenhalde zu suchen. Immerhin ist es gelungen, den ersten Verhüttungsplatz zu entdecken, der eindeutig aus dem Hochmittelalter

Abb. 7: Sachsenburg, Treppenhauer. Ofen und Verfärbung der Grundschwelle des Hauses (Objekt 5 F/O 1)



stammt und noch größtenteils unberührt ist, so daß weitere Untersuchungen erfolversprechend sein dürften.

Durch die Funde von Bleiglätte sowie silberfreiem Blei auf dem Treppenhauer ist belegt, daß der letzte metallurgische Prozeß zur Silbergewinnung aus dem Blei, die Kupellation, innerhalb der Siedlung stattfand. Wie es scheint, dienten dazu die oben beschriebenen Öfen. Ein Hinweis dazu könnte sein, daß die Lehmtanne einen deutlich erhöhten Bleigehalt aufweist.

Zur technischen Keramik, die mit der Kupellation zusammenhängen könnte, sind flache Schalen und dachziegelartige Muffeln zu zählen.

Inzwischen konnten die Ergebnisse durch weitere Grabungen präzisiert werden. So wurden beispielsweise neben dem Ofen eines ebenerdigen Hauses, dessen Grundschwelle sich nur noch als dunkle Verfärbung abzeichnet (Abb. 7), größere Mengen an sekundären Bleimineralen gefunden. Das Haus gehört der jüngeren Phase an und wurde über einem verschütteten Schacht errichtet. Der nahezu vollständig erhaltene Ofen mit Gewölbe und Lehmkuppel, der in einem anderen kleinen Haus ausgegraben werden konnte (Abb. 8, 9), bestätigt die Deutung der Bauweise in den ebenerdigen Häusern.

Versorgung mit Brennmaterial

Da für den Niedergang des Edelmetallbergbaus in der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts der Holzangel als eine wichtige Ursache angesehen wird, war die Untersuchung der Holzkohlen aus den Grabungen wichtig¹⁶. Dabei stellte sich beim Treppenhauer heraus, daß nur etwa 20 % der Holzarten Tanne und Rotbuche gewesen sind. Weitgehend überwiegt es sich um schnellwachsende Arten, die sich aus Wurzelanschlag regenerieren, vor allem Zitterpappel, Birke und Hasel. Da die Bergbausiedlungen im Erzgebirgsvorland in einem mit Bauerndörfern relativ dichtbedeckten Gebiet liegen, mitunter sogar auf den Fluren dieser Siedlungen, hatte bereits vor dem Einsetzen des Bergbaus im 13. Jahrhundert eine intensive Rodung der Wälder stattgefunden. Entsprechend ist das Holzartenspektrum. Die festgestellten Arten finden sich mit geringen Abweichungen gleichermaßen in den älteren wie in den jüngeren Schichten, d. h. daß im Verlauf der bergbaulichen Betriebsperiode stets die gleichen, die unschwer zur Verfügung stehenden Holzarten verwendet worden waren.

Demgegenüber war das Verhältnis der beim Hohenforst im oberen Erzgebirge gebrauchten Holzarten annähernd um-

gekehrt. Sowohl in der älteren als auch in der jüngeren Periode waren es vorwiegend Tanne und Rotbuche. Als Erklärung für dieses Phänomen kann die Lage dieses Reviers weitab von Siedlungen angesehen werden.

Beim Treppenhauer wurde ferner schon in der ersten Periode das Holz vorrangig aus Niederwaldwirtschaft gewonnen, worauf auch der Vergleich der Pollen aus einer Probestelle unmittelbar außerhalb des Grabens und der Holzkohlen hindeutet. Dies zeigt sich besonders an Pappel, Weide und Hasel, die sicher oft geschlagen worden waren, ehe sie nach dem Neuaustrieb wieder zur vollen Blüte gelangten.

Die Feststellung wird durch viele Kohlen aus Zweigstücken unterstrichen, die über Daumenstärke kaum hinauskommen. Das gleiche Bild bieten die 40 Holzkohlestücke aus der Schlackenhalde an der Zschopau bei Schönborn. Bei genau der Hälfte handelt es sich um Zitterpappel, danach folgen erst Hasel und Birke. Tanne und Rotbuche machen zusammen nur 10 % aus.

Es zeigt sich also, daß in der gesamten Zeit der ersten Bergbauperiode am Bleiberg bzw. Treppenhauer der Betrieb durch Niederwaldwirtschaft aufrechterhalten werden konnte. Beim Hohenforst ist über die ganze Periode hinweg ausreichend natürlicher Wald vorhanden gewesen. Daraus resultiert, daß Holzknappeit nicht Ursache für den Niedergang des Bergbaus im 14. Jahrhundert gewesen sein kann.

Zusammenfassung

Die bis jetzt vorliegenden Ergebnisse der montanarchäologischen bzw. archäometallurgischen Forschungen im Raum Mittweida beleuchten die mit dem Forschungsvorhaben umrissenen Fragestellungen nur als grobes Raster und haben keineswegs zu abschließenden Erkenntnissen geführt. Die ins Auge gefaßten nachfolgenden Forschungen, so lassen sich die bisherigen Ergebnisse zusammenfassen, könnten beim Bleiberg einsetzen. Hier handelt es sich um ein kleines, in sich abgeschlossenes und damit überschaubares Gebiet mit einer wüsten Bergstadt (Treppenhauer) im Zentrum. Es ist ein hochmittelalterlicher Verhüttungsplatz bekannt geworden. Außerdem befinden sich hier Grubenbaue aus dem 13./14. Jahrhundert. Als weiterer Vorteil kommt hinzu, daß im Zschopautal nach der anscheinend sehr ergiebigen und intensiven hochmittelalterlichen Phase in den folgenden Epochen Bergbau nur noch im geringen Maße getrieben wurde, so daß die mittelalterlichen Befunde kaum zerstört oder überlagert worden sind.

Uwe Richter

Der Freiburger Raum

Das Forschungsobjekt und seine Genese

Im Freiburger Raum als dem ältesten mittelalterlichen Bergbauzentrum in Sachsen ist die Landschaft jahrhundertlang vom Montanwesen geprägt worden, wovon noch heute viele Relikte im Gelände zeugen. Die Besiedlung des Gebietes zwischen Freiburger Mulde und Striegis erfolgte zwischen 1156 und 1162 durch den Meißner Markgrafen Otto, als bäuerliche Siedler die Waldgebiete erschlossen und Dörfer entstanden, wie beispielsweise Christiansdorf. Das gerodete Land wurde zur Ausstattung des 1162 gegründeten Klosters Marienzella (Altzella) verwendet. Nachdem aber um 1168 auf Christiansdorfer Flur silberhaltige Erze¹⁷ entdeckt worden waren, wurde ein Teil des 1162 dem Kloster vermachten Landes gegen eine Entschädigung wieder aus dessen Besitz herausgelöst und erneut unter markgräfliche Herrschaft gestellt.

Die Silberfunde verursachten einschneidende Veränderungen in der Entwicklung von Siedlung und Landschaft, der einsetzende Bergbau führte in kurzer Zeit zur Anlage mehrerer Siedlungskomplexe neben dem letztmalig 1185 erwähnten Christiansdorf, die Ende des 12. und zu Beginn des 13. Jahrhunderts zur heutigen Altstadt zusammenwuchsen. Außer einer Bergmannssiedlung entstanden eine Burglehnsiedlung zwischen der mutmaßlich um 1175 entstandenen Burg (später Schloß Freudenstein) und der um 1180/1185 erbauten Marienkirche¹⁸ sowie eine Handwerker- und Kaufleutesiedlung um die Kirche St. Nikolai. Den Abschluß dieser Entwicklungslinie zur hochmittelalterlichen Stadt Freiberg bildete die planmäßige Anlage der Oberstadt mit der Petrikerche und dem Obermarkt. Freiberg war die größte Stadt und das ökonomische Zentrum der Markgrafschaft Meißen im Mittelalter.

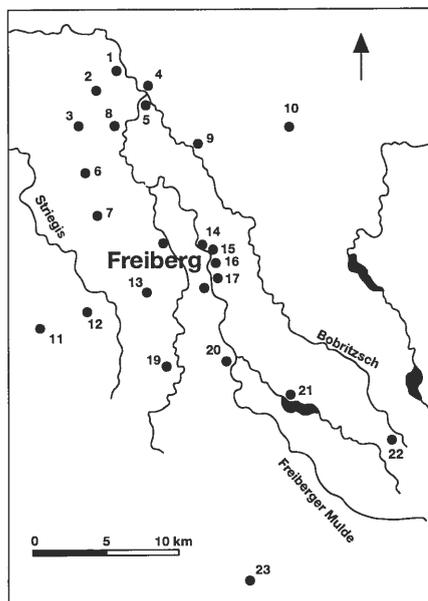
Als Besonderheit der Stadtgenese Freibergs ist das gleichzeitige Entstehen einer Bergstadt und einer Nahmarktstadt hervorzuheben¹⁹. Günstige Voraussetzungen dafür boten die Pfarrkirchen als religiöse und kommunikative Zentren und die Burg als Verwaltungsmittelpunkt. Die stürmische Entwicklung Freibergs, die auf dem schnellen Aufschwung des Bergbaus beruhte, wurde von dem eng damit zusammenhängenden Fernhandel gefördert.

Bislang hatten sich die montanarchäologischen Untersuchungen zum mittelalterlichen Bergbau und Hüttenwesen in Freiberg hauptsächlich auf Funde beschränkt, die bei Notbergungen in der Stadt zum Vorschein gekommen waren²⁰. Erst jetzt können im Rahmen des Vorprojektes zum hochmittelalterlichen Montanwesen im Erzgebirge und seinem Vorland erste zielgerichtete Schritte auf dem Gebiet der Montanarchäologie unternommen werden. Das vorrangige Ziel, ein Inventar möglicher Geländereликte zu erstellen, wird durch Prospektionen zu erreichen versucht, die auf Literatur- und Archivstudien sowie der Auswertung geologischer Karten beruhen.

Montanrelikte in der Landschaft

Bislang konnten bereits mehrere Standorte früherer Bergbautätigkeit in der Umgebung von Freiberg entdeckt werden (Abb. 10). Es handelt sich dabei zumeist um Pingen, Halden und grubenartige Vertiefungen, die sich sehr oft in Waldstücken befinden. Eine zeitliche Einordnung dieser Sachzeugen ist ohne eine archäologische Untersuchung nicht möglich, da oftmals älterer Bergbau von jüngerem überlagert wird. Als sehr schwierig erweist sich insbesondere die

Abb. 10: Freiburger Raum. Mögliche mittelalterliche Bergbaurelikte anhand von Geländebefunden. 1 = Siebenlehn, 2-3 = Zellwald, 4 = Bieberstein, 5 = Rheinsberg, 6 = Großschirma, 7 = Langhennersdorf, 8 = Kleinvoigtsberg, 9 = Krummenhennersdorf, 10 = Tharandter Wald, 11 = Oederan, 12 = Oberschöna, 13 = Freiberg, 14-16 = Hilbersdorf, 17 = Zug, 18 = Freiwald, 19-20 = Lichtenberg, 21 = Reichenau, 22 = Sayda



Suche nach Überresten von Hüttenanlagen, da an möglichen Standorten mittelalterlicher Verhüttung bis in jüngere Zeit immer wieder neue Hütten errichtet worden sind, vor allem an der Freiberg Mulde.

Ihre Lage an Flußläufen, an denen sich seit dem hohen Mittelalter teilweise meterstarke Sedimentationschichten gebildet haben, erschwert das Auffinden zudem außerordentlich. Bei den Geländebegehungen wurden in verschiedenen Arealen Keramikscherben gefunden. In einem von Halden und Pingen durchzogenen Gebiet am westlichen Muldenhang bei Siebenlehn ließen sich mehrere blaugraue Scherben aus dem 13./14. Jahrhundert auflesen. Keramik aus dieser Zeit fand sich auch bei Reichenau und Kleinvoigtsberg. Aus einer Halde im Kirchbachtal bei Oberschöna stammen Scherben aus dem 14./15. Jahrhundert. Solche Lesefunde geben erste Hinweise für eine zeitliche Einordnung der Bergbaurelikte.

Sondierungen

In zwei Gebieten fanden Sondierungen statt. Ziel war es, die Bergbaurelikte zu datieren und Material für archäometallurgische Untersuchungen zu gewinnen. Die erste Sondierung wurde in der Nähe von Freiberg in einem kleinen Wäldchen oberhalb der Freiberg Mulde auf Hilbersdorfer Flur (Neuhilbersdorf) durchgeführt. Das Gelände wird von zahlreichen Pingen, Halden und grubenartigen Vertiefungen durchzogen. In einer ersten Prospektion fanden sich mehrere mittelalterliche Keramikscherben und Schlacken²¹.

Bei einer weiteren Begehung wurde ein größeres, vermutlich von Wildschweinen aufgewühltes Areal entdeckt, in dem sehr viele, mitunter rußgeschwärzte Rollsteine auffielen. Sie ließen die Vermutung aufkommen, daß es sich um einen Ofen handeln könnte, und da eine weitere Zerstörung der Anlage durch Erosion infolge der Hanglage zu befürchten stand, wurde eine kleine archäologische Untersuchung vorgenommen.

Unter einer nur wenige Zentimeter starken Humusschicht kamen die Reste eines U-förmigen Ofengrundrisses zum Vorschein (Abb. 11). Der Ofen bestand aus in Lehm verlegten Gneisbruchsteinen (Abb. 12), und die Ofenkuppel wurde ursprünglich von Rollsteinen gebildet. Als Bindemittel diente ebenfalls Lehm. Reste der eingestürzten Kuppel lagen im ca. 2,35 m langen und 0,56 m breiten Feuerraum. Die Maße des Ofens betragen ca. 2,70 m x 1,85 m. Vergleichbare Öfen fanden sich in der mittelalterlichen Bergstadt auf dem Trep-

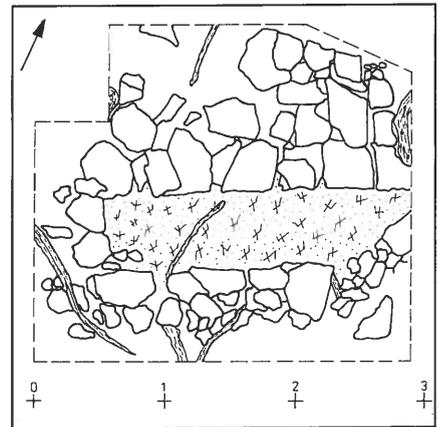


Abb. 11-12: Neuhilbersdorf. Ofen, Planum Maßstab 1:20

penhauer in Sachsenburg²² und in der Königspfalz Tilleda²³.

Bei der Sondierung wurden blaugraue Keramikscherben (Abb. 13.3, 8), eine Scherbe mit Resten einer Innen- und Außenglasur und eine Scherbe rotbemalter Feinware (Abb. 13.9) geborgen. Während die blaugraue Keramik einheimischer Provenienz ist, stellen die glasierte Scherbe und die Scherbe der rotbemalten Feinware Importkeramik dar, als deren Herkunftsgebiet Süddeutschland in Betracht kommt. Unmittelbar an dem Ofenfundament kam ein kleines Bleigewicht zum Vorschein (Abb. 13.13).

Für eine technische Verwendung des Ofens konnten keine Anhaltspunkte festgestellt werden. Vermutlich befand er sich in einem ebenerdigen Haus. Unmittelbar westlich vor dem Ofen ist eine grubenartige Vertiefung anzutreffen, die im Gegensatz zu den fast kreisförmigen Pingen eine ovale bis rechteckige Form aufweist. Zudem fehlten bei diesen Vertiefungen die zu den Bergbaupingen gehörenden Halden. Ein Schnitt durch diese Grube von Südwesten nach Nordosten zeigte, daß es sich um ein Haus

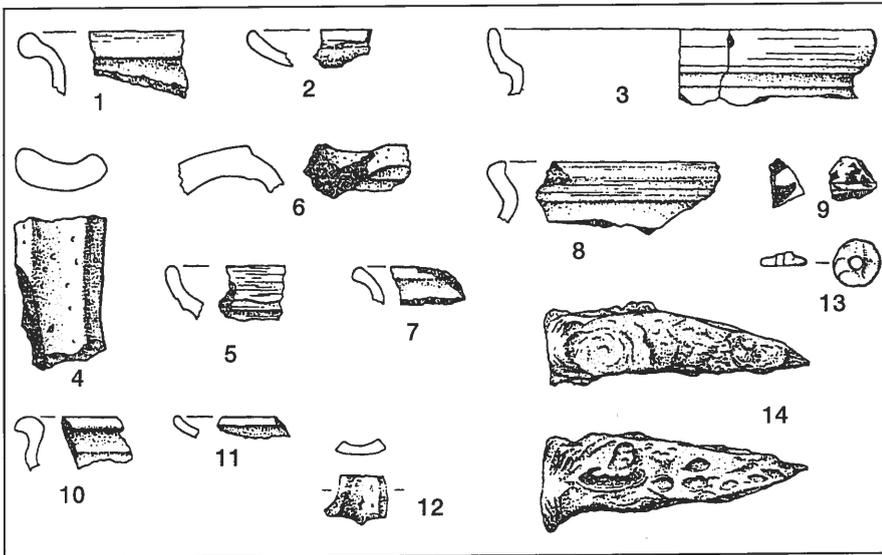


Abb. 13: Neuhilbersdorf. Funde

handelt, das ca. 1 m tief in den anstehenden Gneis eingetieft worden war. Auf der SW- und NO-Seite des Hauses konnten noch Reste von Mauerwerk, das sich auf dem anstehenden Fels befindet, festgestellt werden.

Die vielen in der Grube liegenden Steine verdeutlichen, daß diese Mauern ursprünglich höher waren. Ihre Fragmente bestehen aus in Lehm verlegten Gneisbruchsteinen. Innerhalb des Hauses wurde auf dem anstehenden Gneis ein Lehmfußboden festgestellt, in und auf dem sich Holzkohlestücke, Knochenreste, stark korrodiertes Eisen und Tonscherben befanden, die aus reduzierend gebrannter blaugrauer Irdenware bestehen (Abb. 13.5, 7). Aus der Verfüllung des Grubenhauses stammen neben reduzierend gebrannten Keramikscherben (Abb. 13.10–12) auch einige oxidierend gebrannte helle bis bräunliche Scherben (Abb. 13.1, 4, 6).

Bemerkenswert sind mehrere Funde, die auf eine Tätigkeit der einstigen Hausbewohner im Bergbau oder Hüttenwesen hinweisen; zu nennen sind ein Erzstück, ein Bergeisen (Abb. 13.14), das Fragment einer kleinen Schale aus blaugrauer Keramik mit Spuren einer stark bleihaltigen Schmelze (Abb. 13.2) und der Rest einer Kupelle. Die zu den Reaktionstiegeln gehörende Schale und die mit Bleiverbindungen durchtränkte Kupelle wurden beim Probierv erfahren verwendet²⁴.

Nur wenige Meter vom Gebäude entfernt befindet sich eine Schlackenhalde. Direkt unter der Humusschicht liegt ein ca. 8 cm starker Horizont aus gelb- bis rötlichbraunen, mit Gesteins- und Holzkohlestücken verbackenen, blasigen und oft kalottenförmigen Schlacken. Es

sind Eisenschlacken, die vermutlich die Abfälle einer ehemaligen Bergschmiede darstellen. Mehrere blaugraue Scherben konnten geborgen werden.

Die in dem Waldstück vorgenommenen Untersuchungen zeigen, daß sich hier im Mittelalter eine Bergbausiedlung befand. Die Keramikfunde lassen eine Datierung des Ofens, des Grubenhauses und der Schmiedeschlacken in das 13./14. Jahrhundert zu, und sie sind um so wichtiger, als keine schriftlichen Überlieferungen zum mittelalterlichen Bergbau in diesem Gebiet existieren.

Die zweite Sondierung fand wiederum auf Hilbersdorfer Flur auf dem Rammelsberg statt²⁵, einem größeren Waldgebiet mit vielen noch heute im Gelände sichtbaren Spuren früherer Bergbautätigkeit, das allerdings nicht mit dem Erzbergwerk bei Goslar zu verwechseln ist. In den Schriftquellen taucht dieser Rammelsberg erstmals im Jahre 1477 in den Münzmeisterrechnungen auf²⁶. In der Nähe der aus dem 19. Jahrhundert stammenden Halde des Theodor-Richtschachtes befinden sich neben Pingen und Halden mehrere grubenartige Vertiefungen im Wald.

In einer dieser Gruben wurde die Sondierung vorgenommen, wobei ein ca. 0,90 m tief in den anstehenden Gneis gesetztes Grubenhaus zum Vorschein kam. Auf dem Gneis liegt ein Lehmfußboden mit Holzkohle, Erzstücken und einigen oxidierend gebrannten, ockerfarbenen bis hellgrauen Keramikscherben. Aus der Verfüllung des Hauses konnten neben reduzierend gebrannter, grauer bis fast schwarzer Keramik auch einige Scherben eines Steinzeugkruges mit brauner Glasur entdeckt werden, bei dem es sich um einen Importfund han-

delt. In diesem Horizont fanden sich auch eine Verhüttungsschlacke und ein stark korrodiertes Hufeisen. Aufgrund der Keramik kann das Grubenhaus zeitlich dem 13./14. Jahrhundert zugeordnet werden.

Funde und Befunde

In Freiberg wurden bei archäologischen Untersuchungen und Notbergungen in der Altstadt an vielen Fundstellen neben Sachzeugen aus dem Alltagsleben auch Gegenstände aus dem Berg- und Hüttenwesen geborgen. Einige dieser Objekte fanden sowohl im Bergbau als auch im häuslichen Bereich Verwendung, beispielsweise tönernerne Schalenlampen mit Griffloch²⁷. Ein großer Teil der Funde an technischer Keramik und Schlacken stammt aus Abfall- oder Fäkaligruben, die oft keine genaue Datierung zulassen. Insofern sind sicher datierte Funde an technischer Keramik und Verhüttungsschlacken für die Beurteilung der im hohen Mittelalter angewandten Verfahren im Hüttenwesen von großer Bedeutung, wie insgesamt eine ganze Reihe dieser Gegenstände auch auf das Berg- und Hüttenwesen zurückzuführen sein kann.

Aus der Engen Gasse 10 in Freiberg liegen aus einer Fundschicht viele Bruchstücke flacher Tonschalen unterschiedlicher Größe mit Schmelzresten

Abb. 14: Freiberg. Tonschalen aus der Engen Gasse 10

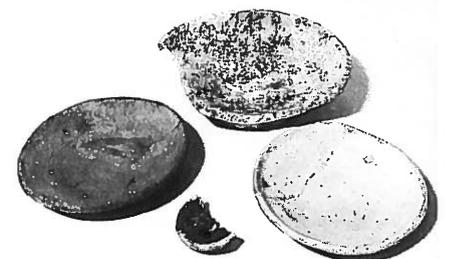


Abb. 15: Freiberg. Dreieckige Tiegel aus der Engen Gasse 10



(Abb. 14) vor. Hinzu kommen Bruchstücke dreieckiger Tiegel (Abb. 15) und von Kupellen. In dieser Schicht fanden sich auch Scherben mittelalterlicher Gebrauchskeramik. Dadurch ist ihre Datierung in das 13. Jahrhundert möglich. Die in der Engen Gasse geborgenen Schmelzschalen und Kupellen wurden im Probierversahren eingesetzt, worauf die in den anhaftenden Rückständen enthaltenen Bleiverbindungen hinweisen²⁸. Vergleichbare Funde an flachen Tonschalen liegen in Freiberg bisher aus der unmittelbar an die Enge Gasse anschließenden Borngasse, aus Burg/Schloß Freudenstein und aus der Marienkirche/Dom vor²⁹. Bei archäologischen Untersuchungen am Untermarkt 12 fanden sich in einer Planierungsschicht mit Keramik, die zeitlich ein Fundspektrum vom ausgehenden 12. bis in das 14. Jahrhundert umfaßt, mehrere Fragmente dreieckiger Tiegel aus Graphitton und ein Stück Bleiglätte³⁰.

Im Zuge der durch den verstärkten innerstädtischen Bau notwendigen Rettungsgrabungen und Notbergungen konnten 1993 erstmalig auch in der Stadt Freiberg selbst Grubenhäuser nachgewiesen werden³¹. Zwei von ihnen, in den anstehenden Boden eingetieft, befanden sich am Untermarkt, in der Untergasse 2. Aufgrund der aus dem Lehmfußboden und der darauf liegenden Brandschicht geborgenen Keramik können die Gebäude in die Zeit um 1200 datiert werden. Im Fundmaterial befinden sich einige Bruchstücke von dreieckigen Tiegeln, die allerdings noch nicht näher untersucht worden sind.

Etwa zwischen beiden Grubenhäusern lag eine Abfallgrube mit Keramik des späten 12. und 13. Jahrhunderts, der teilweise Schmelzreste anhafteten, sowie mehrere zusammengebackene Stücke stark kupferhaltiger Schmelzreste, deren genaue Analyse allerdings noch aussteht. Ein weiteres Grubenhaus, das zeitlich in die erste Hälfte des 13. Jahrhunderts zu rechnen ist (Abb. 16), wurde in der Kaufhausgasse entdeckt³².

Bei Kanalisations- und Straßenbauarbeiten in der Weingasse wurden im Zuge baubegleitender Notbergungen Reste einer hochmittelalterlichen Holzstraße gefunden, auf der sich eine Schicht aus Kies, Gneis und Verhüttungsschlacken befand. Daraus konnten Holzreste, Knochen, Leder und einige Tonscherben geborgen werden. Durch die Keramikfunde gehört dieser Horizont zeitlich in die erste Hälfte des 13. Jahrhunderts. Die Abfallprodukte der Verhüttung, die Schlacken, schüttete man also nicht nur auf Halden, sondern verwendete sie seit frühesten Zeiten des Freiburger Bergbaus weiter, u. a. zur Befestigung von Straßen und Wegen.

Schlußfolgerungen

Die bei den archäologischen Untersuchungen im Freiburger Raum und in der Stadt selbst gemachten Funde und Befunde bestätigen die in anderen Bergbauorten³³ und stadtähnlichen Siedlungen³⁴ im Erzgebirge wie in seinem Vorland und in Böhmen³⁵ getroffenen Feststellungen: Die Bewohner der Stadt Freiberg und der beiden sondierten Bergbausiedlungen wohnten anfangs teilweise in Grubenhäusern.

Der mit dem Bergbau in Zusammenhang stehende Fernhandel, der auch durch schriftliche Zeugnisse aus dem Mittelalter belegt wird³⁶, schlägt sich im archäologischen Material in der Form vieler Importfunde nieder, die in Freiberg geborgen worden sind. Bei den zwei Sondierungen wurden ebenfalls importierte Funde, glasierte Keramik, Scherben rotbemalter Feinware und Steinzeug, sichergestellt.

Damit finden die in anderen erzgebirgischen Bergstädten getroffenen Schluß-

folgerungen auch im Freiburger Gebiet ihre Bestätigung: Freiberg war das Zentrum vieler umliegender Bergbausiedlungen und bildete zugleich den Nahmarktort für die ländliche Umgebung. Diese Doppelfunktion wird in dem zwischen 1296 und 1305 aufgezeichneten Stadtrecht deutlich³⁷, das zwischen „stat“ als dem „in der muren“ gelegenen Gebiet der Gemeinde, dem „wicbilde“ als dem Nahmarktgebiet (Meile) und dem „gebirge“ als der Gesamtheit aller zu Freiberg gehörigen Bergbausiedlungen und Bergwerke, die dem Freiburger Bergmeister unterstanden, unterscheidet³⁸. Die im „gebirge“ wohnenden Bergleute waren Bürger von Freiberg.

Durch die bei der Geländeinspektion und den Sondierungen entdeckten Relikte konnten einige dieser wüsten Bergbauorte aufgefunden werden. Sie stellen heute die letzten noch im Gelände vorhandenen montanen Kulturdenkmale aus der ersten Periode des erzgebirgischen Bergbaus dar.

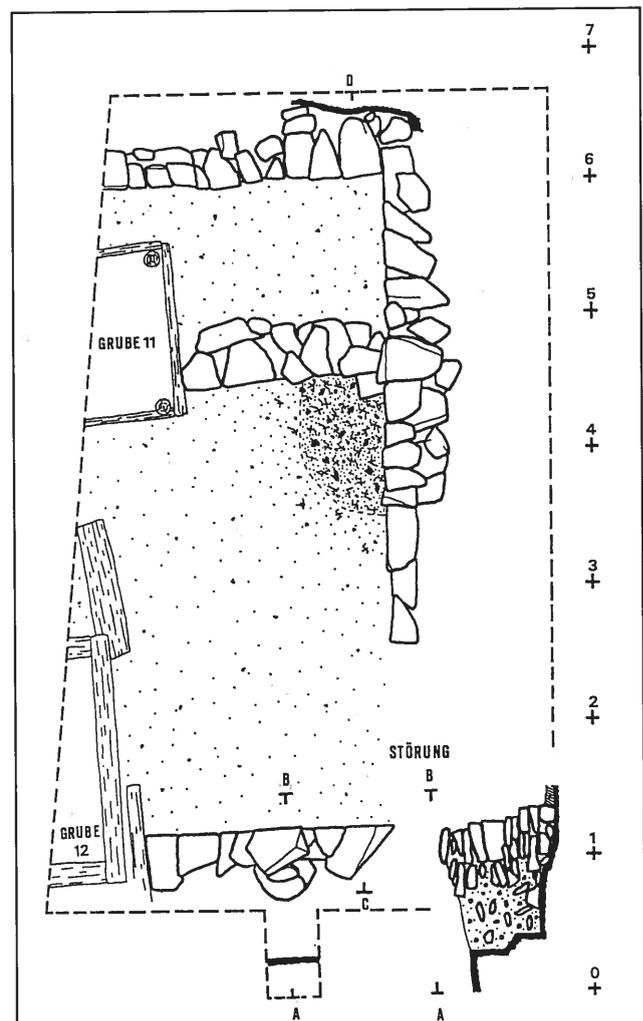


Abb. 16: Freiberg. Planum des Grubenhauses in der Kaufhausgasse

Die Gewinnung von Blei und Silber

Das Untersuchungsgebiet und seine Funde

Aus den Vererzungen im Untersuchungsgebiet (Abb. 17), aus dem das archäometallurgische Material stammt, sind bereits im Mittelalter Rohstoffe abgebaut und verhüttet worden. Es handelt sich um typische hydrothermale Ganglagerstätten. Sie gehören unterschiedlichen Erzformationen an und weisen daher auch voneinander abweichende chemische Zusammensetzungen auf. Die älteren Formationen sind sehr reich an Eisen, Zink und Kupfer. Mit abnehmendem geologischem Alter treten diese Elemente zurück, und es herrscht vor allem Barium, aber auch Fluor vor.

Da Aufbau und Zusammensetzung der Lagerstätten des Erzgebirges an anderer Stelle sehr ausführlich untersucht worden sind³⁹, kann im folgenden auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet werden. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen vielmehr die ersten Ergebnisse der gemeinsamen Untersuchungen an den mittelalterlichen Schlacken und Keramikfragmenten.

Die Schlacken

Die überwiegende Mehrzahl der Schlackenfunde, die sämtlich aus dem 13. bzw. 14. Jahrhundert stammen, läßt sich makroskopisch in zwei Typen gliedern. Der erste ist stark inhomogen, und die Stücke sind etwa walnuß- bis faustgroß, häufig auch größer. Sie weisen ein stark gelb- bis rostbraun, manchmal auch bläulich korrodiertes Äußeres, ferner erkennbare unzersetzte Chargenbestandteile (Holzkohle, Gesteinsbruchstücke) sowie blasig-wulstige Beschaffenheit ohne deutliche Fließstrukturen auf. Gelegentlich finden sich bimsartig aufgeschäumte Partien oder kalottenähnliche äußere Formen. Dieser Schlackentyp trat stets unmittelbar in Siedlungen auf. Manchmal wurden im Kontext Eisengegenstände gefunden.

Der zweite Typ ist dagegen sehr viel gleichförmiger. Die Schlacken sind meist nur wenige Kubikzentimeter groß, Faustgröße wird selten erreicht. Sie sind glasig-dicht oder mikrokristallin erstarrt und zeigen häufig Fließstrukturen. Ihre Farbe reicht von grau über grau-grünbläulich bis schwarz. Stärkere Verwitterungserscheinungen sind nicht zu beobachten, allenfalls eine Trübung der Außenflächen.

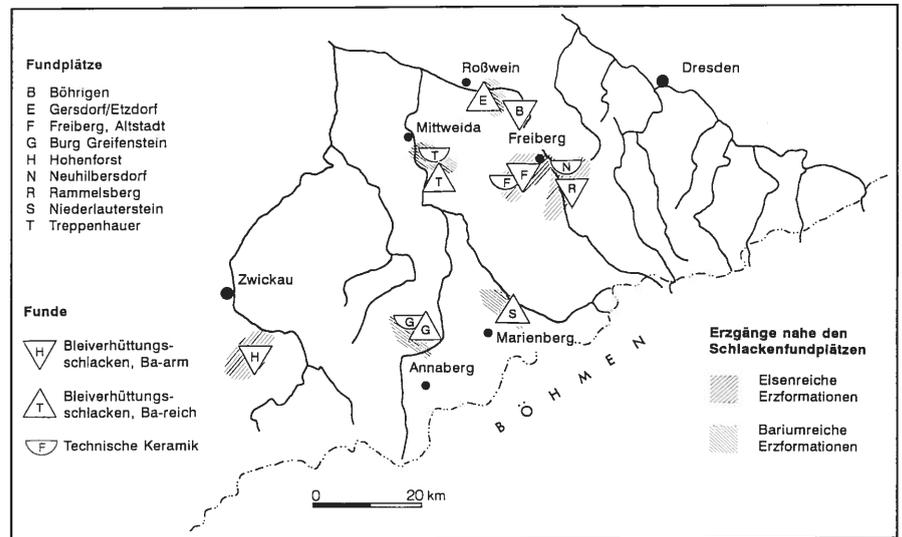


Abb. 17: Fundpunkte im Untersuchungsgebiet. Art der vorgestellten Proben und Charakter der nächstliegenden Vererzungen (nach Schwabenicky 1991)

rungserscheinungen sind nicht zu beobachten, allenfalls eine Trübung der Außenflächen.

Die Fundsituation dieser Schlacken ist unterschiedlich. Größere Ansammlungen kann es, wie am Hohenforst, innerhalb der Siedlungs- und Abbaubereiche, aber auch außerhalb dieser in Flußtälern geben, z. B. am Treppenhauer im Zschopautal bei Schönborn. Einige Stücke, besonders die aus dem Freiburger Stadtkern, sind Einzelfunde aus mittelalterlichen Verfüllungen.

Für die chemische und mineralogische Analyse (Tab. 1) sind insgesamt 24 hinsichtlich Größe und Aussehen typische Stücke ausgewählt worden. Von jeder Probe wurde ein polierter Dünnschliff bzw. ein Anschliff hergestellt. Die chemische Zusammensetzung der Schlacken ist mittels Atomabsorptions-Spektrometrie bestimmt worden. In 6 Fällen wurden die Schlackenbrocken in der Mitte geteilt, und beide Hälften wurden getrennt analysiert.

Die 7 Proben der zuerst aufgeführten Gruppe gehören dem heterogenen, „verrostet“ wirkenden Schlackentyp an, alle weiteren dem homogenen und gut aufgeschmolzenen. Die Unterschiede der beiden Typen dokumentieren sich auch in ihrer Zusammensetzung: Die braun korrodierten Schlacken enthalten im Mittel weit mehr Eisen und deutlich weniger Erdalkalimetalle (Calcium und Barium) als die gut durchreagierten Produkte. Letztere weisen dagegen Bleigehalte auf, die um den Faktor 100 über denen des ersten Typs liegen.

Diese markanten Unterschiede legen im Grunde nahe, die eisenreichen und bleiarmen Schlacken der Eisentechnologie, die blei- und erdalkalireichen Schlacken

der Buntmetallurgie zuzuordnen. Eine Ansprache allein anhand der chemischen Zusammensetzung kann jedoch nicht nur wegen unzersetzter Chargenbestandteile zu erheblichen Verwirrungen führen. Dies hat Gert Goldenberg am Beispiel einer im Prozentbereich mit Blei kontaminierten Eisenverarbeitungsschlacke aus dem Schwarzwald gezeigt⁴⁰. Für eine gesicherte und differenzierte Zuordnung der Schlacken sind daher lichtmikroskopische und mikroanalytische Detailanalysen unumgänglich.

Im Schliff wird erkennbar, daß sich die äußerlich erkennbare Inhomogenität der „rostigen“ Schlacken im Mikrobereich fortsetzt. Typisch sind Phasenassoziationen von Wüstit (FeO)⁴¹ und Fayalit ($\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$) unmittelbar neben bräunlich-schlierigem, kieselsäurereichem Glas, das mechanisch inkorporierte Quarzkörner umgibt. In besser durchreagierten Partien ist die Restschmelze nach der Kristallisation von Fayalit und Wüstit als Eutektikum von Alkalifluorid⁴² und Eisenoxid erstarrt. Tröpfchen von metallischem Eisen treten im Schliff in wechselnden Anteilen auf, wogegen buntmetallhaltige Einschlüsse völlig fehlen.

Charakteristisch sind scharf umgrenzte, sich in der silikatischen Matrix sukzessive auflösende Aggregate von Eisenoxid. Sie werden als Hammerschlag interpretiert, der sich als spröde Oxidkruste auf der Oberfläche von heißem Eisen an der Luft bildet. Sie kann beim Schmieden abplatzen und in die Schlacke eingebracht werden. Es ist auszuschließen, daß sich ein derartiges Gefüge durch Kristallisation aus einem schmelzflüssigen Schlackenbad bilden kann, wie es bei der Verhüttung von Eisenerzen der Fall ist. Vielmehr zeigen

Nr.	Fundort	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	ZnO	PbO	CaO	BaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ag	Cu	Co*	Ni	As	Sb	Sn	F
F 1/1	FG, Untermarkt 12	19,0	0,26	3,3	69,7	0,5	<0,01	<0,01	2,1	0,1	0,73	0,33	1,54	<10	40	150	150	80	30	<100	-
N 1/1	Neuhilbersdorf	53,1	0,96	10,2	10,4	0,7	<0,01	0,05	11,8	1,1	4,00	1,10	5,30	20	150	90	60	120	40	<100	-
T 1/1	TH, Siedlung	57,0	0,70	7,9	18,0	0,3	<0,01	0,02	5,5	0,2	1,70	0,88	5,10	30	180	150	90	70	40	100	-
T 1/2	TH, Siedlung	26,3	0,34	3,2	61,3	0,3	<0,01	<0,01	2,5	0,2	0,90	0,60	2,40	10	570	90	70	200	130	300	-
		21,5	0,30	2,8	66,5	0,3	<0,01	<0,01	2,8	0,2	0,90	0,50	2,20	10	630	70	70	90	150	350	-
T 1/3	TH, Siedlung	26,1	0,50	6,0	59,9	0,2	<0,01	0,02	1,5	0,2	0,95	0,28	2,00	20	390	90	20	160	160	1060	-
G 1/1	Greifenstein	47,6	0,44	4,7	38,3	0,3	<0,01	<0,01	3,0	0,1	1,25	0,56	2,60	<10	90	220	60	50	130	<100	-
		29,0	0,42	4,3	58,4	0,2	<0,01	<0,01	2,4	0,1	1,15	0,48	2,30	<10	100	80	60	40	150	140	-
S 1/1	Niederlauterstein	38,5	0,25	6,7	44,3	0,1	<0,01	0,01	4,0	0,1	1,10	0,80	3,60	<10	140	130	50	10	90	<100	-
F 2a/1	FG, Borngasse 5	49,4	0,18	3,1	20,6	2,4	2,20	1,20	14,2	3,8	0,42	0,17	1,20	20	410	50	<20	190	230	520	-
F 2a/2	FG, Petersstr. 19	47,8	0,24	3,7	16,2	0,6	1,30	3,60	19,0	2,9	0,60	0,19	1,42	20	1130	60	30	720	180	130	5,22
F 2a/3	FG, Enge Gasse 10	45,0	0,35	5,9	10,8	0,3	0,90	3,30	25,6	3,6	0,60	0,10	1,25	15	840	115	30	120	160	700	-
		43,4	0,40	5,7	12,0	0,2	1,20	3,80	26,1	3,6	0,60	0,16	1,30	15	760	110	40	120	250	820	-
F 2a/4	FG, Untermarkt 12	51,0	0,24	4,0	13,5	0,5	0,85	1,10	22,9	1,9	0,65	0,25	1,60	15	720	35	35	50	40	<100	-
F 2a/5	FG, Schloßturn	52,8	0,28	4,2	10,5	1,3	0,35	0,60	24,6	2,8	0,70	0,25	1,45	10	820	180	30	30	70	<100	-
		52,4	0,40	3,3	11,0	0,2	0,35	0,60	26,1	2,5	0,70	0,40	1,50	10	760	135	40	40	10	<100	-
F 2a/6	FG, Erbische Str.	52,0	0,26	4,2	11,5	1,0	0,40	2,50	23,8	2,6	0,70	0,26	1,55	15	65	165	40	30	80	<100	-
R 2a/1	Rammelsberg	42,5	0,07	6,8	28,5	1,1	8,20	3,20	3,1	0,2	1,10	0,24	1,60	290	1,6%	170	70	360	320	450	-
H 2a/1	Hohenforst	42,6	0,30	6,8	37,2	0,6	0,11	2,50	2,4	0,2	0,70	0,17	3,90	20	3710	90	50	260	290	<100	-
		41,9	0,30	7,1	36,5	0,6	0,11	2,50	2,5	0,2	0,65	0,55	4,10	20	3890	50	60	260	310	<100	-
B 2a/1	Böhrigen	39,6	0,48	4,2	31,6	1,0	0,07	1,20	12,0	2,8	1,65	0,20	1,80	40	1950	130	50	260	290	<100	0,53
E 2b/1	Gersdorf/Etzdorf	21,7	0,25	3,3	5,4	0,4	0,20	2,20	27,9	32,5	0,70	0,30	1,10	75	1860	80	120	140	440	<100	-
T 2b/1	TH, Hüttenplatz	36,6	0,50	4,8	9,0	0,4	0,04	0,90	9,9	34,2	0,80	0,20	1,60	70	210	20	100	370	370	<100	-
T 2b/2	TH, Hüttenplatz	26,3	0,55	4,2	15,5	0,3	0,29	0,13	5,0	43,5	0,70	0,16	1,00	150	490	60	110	40	190	<100	2,19
		27,1	0,50	4,3	14,4	0,3	0,28	0,13	4,6	43,5	0,70	0,22	1,30	160	490	100	120	50	220	<100	0,23
T 2b/3	TH, Hüttenplatz	38,6	0,60	4,4	3,9	0,3	0,01	2,30	16,4	28,5	0,70	0,25	1,50	30	1360	310	70	90	2650	<100	5,02
T 2b/4	TH, Hüttenplatz	35,2	0,55	5,1	5,2	0,3	0,05	5,70	20,8	22,5	0,90	0,35	1,60	10	1290	120	90	30	1750	<100	7,21
G 2b/1	Greifenstein	41,6	0,28	3,9	5,2	0,2	0,42	0,35	15,1	28,5	0,75	0,28	1,20	40	1320	370	250	140	660	<100	5,18
S 2b/1	Niederlauterstein	30,6	0,25	4,5	11,4	1,3	0,06	0,60	5,3	41,1	0,80	0,40	1,60	50	630	950	220	290	100	<100	0,64

Tab. 1: Haupt- und Spurenelementgehalte mittelalterlicher erzbergischer Schmiede- und Bleiverhüttungsschlacken. FG = Freiberg, TH = Treppenhauer; Angaben für Oxide und Fluor in Gew.-%., für Elemente in ppm; - = nicht bestimmt, * = Co-Kontamination während der Mahlung nicht auszuschließen.

sich hier deutliche Phasenungleichgewichte. Sie weisen auf kleinräumig wechselnde Chargenzusammensetzung und ein stark schwankendes Sauerstoffangebot während der Bildung der Schlacke hin, wie dies für den Arbeitsbereich einer Schmiede typisch ist⁴³.

Im Einklang mit der archäologischen Fundsituation handelt es sich also um Schmiedeschlacken. Als solche erwiesen sich auch die Funde vom Ullersberg bei Wolkenburg, von denen keine pauschalchemische Zusammensetzung bestimmt wurde⁴⁴. Die Ansprache dieser Schlacken ist insofern wichtig, als hierdurch sehr deutlich ein Arbeitsbereich definiert werden kann, in dem vermutlich Werkzeug oder bergmännisches Gezähe hergestellt bzw. geschärft worden ist. Er hat nichts oder nur indirekt etwas mit der Silbergewinnung zu tun.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen deshalb die Schlacken aus der Verhüttung von Buntmetall. Sie lassen sich in zwei Gruppen gliedern: die erste enthält weniger als 4 Gew.-% BaO, die zweite 22 bis über 43 Gew.-% BaO. Entsprechend niedriger liegen die mittleren Gehalte der beiden anderen Hauptkomponenten: 47 % SiO₂ und 20 % FeO in der ersten Gruppe stehen 33 % SiO₂ und nur 8 % FeO in den bariumreichen Schlacken gegenüber. Bisher beschriebene Schlacken haben im allgemeinen weit niedrigere Barium- und höhere Eisengehalte⁴⁵. Der PbO-Gehalt liegt zwischen 0,1 und 5,7 Gew.-%. Innerhalb der BaO-reichen Schlacken sinkt tendenziell der Bleigehalt mit steigendem Bariumanteil. Die Funde enthalten, von zwei Ausnahmen abgesehen, weniger als 80 ppm Silber. Dies läßt kaum an eine Verhüttung von Silberreicherz denken.

Im Mikroskop zeigt sich, daß fast alle Funde aus einer weitgehend flüssigen Schmelze erstarrt sind. Nur wenige Proben der bariumarmen Gruppe sind fayalitisch kristallisiert. Hier lassen sich Parallelen zu den Schlacken der frühen Eisen- und Kupfermetallurgie ziehen. Die meisten Funde sind jedoch entsprechend ihrer hohen SiO₂-Gehalte glasig erstarrt. Vielfach wurden Dendriten aus Fluorit (CaF₂) beobachtet, dessen stark schmelzpunktniedrigende Wirkung bekannt ist.

Der Kristallisationsgrad der BaO-reichen Schlacken ist ebenfalls gering. Neben Glas und Fluorit sind für ihren Phasenbestand Bariumfeldspäte charakteristisch. Es handelt sich um Hyalophan (K,Ba)[Al(Al,Si)₂O₆] mit wechselnden Anteilen an Barium. EDX-Analysen⁴⁶ dieses Feldspates sind in Tabelle 2 gegeben. Bei hohen Anteilen an CaO kristallisiert in den Schlacken Alit Ca₃[O]SiO₄, feilverwachsen mit Fluorit. Angesichts des bei über 1900 °C liegenden Schmelz-

punktes von Alit⁴⁷ ist hier der Zerfall eines komplexen Calciumfluorosilikates zu vermuten. Auskristallisierte Calciumphasen enthalten weit mehr CaO als die glasige „Rest“schmelze. Dagegen sind die Hyalophantäfelchen gegenüber der umgebenden Glasmatrix an ihrer Hauptkomponente BaO verarmt.

Neben den silikatischen Verbindungen, der eigentlichen Schlacke, sind in den Schlifften Reste der erschmolzenen Wertträger in Form von Eisen-, Kupfer- und Bleisulfiden („Stein“) und, weitaus seltener, als Bleimetalltröpfchen enthalten (Abb. 18, 19). Im Gegensatz zur Schmiedeschlacke kann man hier die silikatischen und die darin eingeschlossenen opaken⁴⁸ Phasen als Gleichgewichts-Paragenese betrachten, was typisch für Verhüttungsschlacken ist. Das Auftreten von Bleimetall bei gleichzeitigem völligen Fehlen von metallischem Kupfer zeigt an, daß die Verhüttung auf Blei und das darin gebundene Silber erfolgte. Die Zusammensetzung der Einschlüsse zeigt weiterhin, daß die Verhüttung relativ silberarmer⁴⁹ sulfidischer Erze in Sachsen nicht erst seit den jüngeren Bergbauperioden beherrscht wurde.

Unter den Sulfidphasen dominieren Pyrrhotin (FeS) und Chalkopyrit (CuFeS₂). Kupferreichere Proben zeigen Entmischungen von Bornit, Cu₅FeS₄ und Chalkopyrrhotin (Cu₃Fe)S. Mengenmäßig untergeordnet ist Galenit (PbS; Synonym: Bleiglanz), mit dem sich vorzugsweise Bleimetall vergesellschaftet findet. Im Schlibfbild der bleiarmer Schlacken ist Bleisulfid oder -metall häufiger zu beobachten als in den PbO-reicheren Schlacken. Die Bleiverluste bei der Verhüttung sind also vermutlich mehr durch Verschlackung, d. h. den Übergang von Bleioxid in die silikatische Phase, verursacht als durch mechanisch zurückgehaltene Bleiverbindungen, obwohl die höhere Dichte der bariumreichen Schmelzen ein Absetzen der metallischen Bestandteile erschwert. Die geringen Gehalte an Silber haben sich in der Regel aus dem Bleimetall unterschieden. Legierungen bzw. intermetallische Verbindungen der Metalle Ni-Sb-

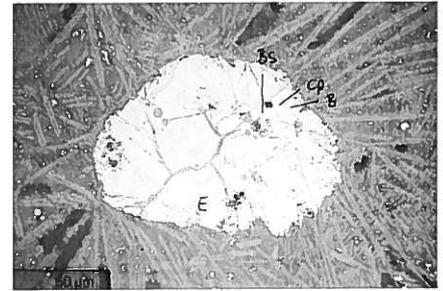


Abb. 18: Probe B 2 a/1. Auflicht, parallele Nicols. Einschuß in der Bildmitte aus Chalkopyrit (Cp) und Bornit (B), im unteren Teil ein Eutektikum (E) aus Bleisulfid und verschiedenen Cu-Fe-Sulfiden. Die grauen Tropfen im Einschuß sind korrodiertes Bleimetall, häufig im Kontakt mit Bleisulfid (Bs)



Abb. 19: Probe E 2 b/1. Auflicht, parallele Nicols. Im unteren Bildteil Steintropfen mit Pyrrhotin (P) sowie (FeCuBaK)-Sulfid (Ba). Bleisulfid (Bs), hier eutektisch mit (Ba), wird an der oberen Begrenzung des Steines von der hoch BaO-haltigen Matrix (dunkel) angegriffen

As oder Cu-Sn-Sb („Speise“) können ebenfalls Silber im Prozentbereich enthalten. Sie sind jedoch sehr selten. In den Einschlüssen der bariumreichen Schlacken tritt als Hauptkomponente zusätzlich ein weiteres Sulfid auf, dessen Zusammensetzung etwa (FeBaCuK)S bis (FeBaCuK)₁₁S₉ ist (Abb. 18). WDX- und EDX-Analysen sind in Tabelle 3 gegeben.

Wie sind die zwei unterschiedlichen Gruppen der Buntmetall-schlacken nach deren BaO-Gehalt zu erklären? Goldenberg unterscheidet im Schwarzwald ebenfalls zwischen einerseits eisenreicheren und andererseits erdalkalibeton-

Tab. 2: Zusammensetzung einiger kristallisierter Phasen und der umgebenden Glasmatrix in bariumreichen Bleischlacken. EDX-Analysen; Angaben in Gew.-%; n.n. = nicht nachweisbar, * = Fluoritausscheidungen unberücksichtigt.

Probe	Objekt	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	PbO	CaO	BaO	K ₂ O
T 2b/1	Hyalophan	41,5	18,8	1,8	n.n.	n.n.	31,7	6,3
E 2b/1	Hyalophan	33,8	20,0	2,0	n.n.	0,4	40,6	3,2
E 2b/1	„Alit“*	27,0	n.n.	n.n.	n.n.	73,0	n.n.	n.n.
T 2b/1	Glasmatrix	33,1	2,3	9,9	1,0	13,5	39,1	1,1
E 2b/1	Glasmatrix	21,9	1,5	8,0	n.n.	10,2	57,0	1,5

Probe	Methode	Angaben in	Ba	Fe	K	Cu	S	Summe
E 2b/1	WDX	Gew.-%	12,99	30,02	3,16	20,90	32,91	91,75*
		Atom-%	4,19	23,85	3,59	14,59	45,53	
T 2b/2	EDX	Gew.-%	22,2	42,7	1,9	5,2	28,0	100
		Atom-%	8,4	39,6	2,5	4,2	45,3	

Tab. 3: Zusammensetzung BaS-haltiger Komplexsulfide aus bariumreichen Bleischlacken, niedrige Analysensumme vielleicht aufgrund partieller Oxidation.

ten Buntmetallschlacken⁵⁰. Während die ersten in das hohe Mittelalter datieren, sind letztere spätmittelalterlich bzw. frühneuzeitlich. Diese Situation läßt sich mit derjenigen im Erzgebirge jedoch nicht vergleichen, da alle hier untersuchten Funde aus dem hohen bis späten Mittelalter stammen. Plausibel scheint eine Ableitung der Schlackenzusammensetzung aus den lokal vorkommenden Erzen und Gangarten zu sein. Am Hohenforst, am Rammelsberg und im Freiburger Zentralrevier, wo eisenbetonte Schlacken gefunden wurden, herrschen auch eisenreiche und erdalkaliarme Vererzungstypen vor. In Gersdorf bei Roßwein, in Niederlauterstein und vor allem am Treppenhauer dominieren dagegen die Lagerstätten mit Baryt (BaSO₄; Synonym: Schwerspat) als Gangart. Dies sind auch die Fundpunkte der bariumreichen Schlacken (Abb. 17). Von daher ist anzunehmen, daß im Mittelalter im Erzgebirge nicht nur Siedlung und Bergbau, sondern auch die zugehörige Verhüttung innerhalb geographisch kleinräumiger Strukturen erfolgte.

Die enge räumliche Bindung der BaO-betonten Schlacken und der barytreichen Gänge läßt zunächst vermuten, daß Schwerspat infolge mangelnder Trennung vom Erz unbeabsichtigt in den Schmelzöfen gelangte. Barium spielt jedoch bei den Reaktionsabläufen im Schachtofen während der Bleiverhüttung eine wichtige Rolle – mehr noch als Calcium oder Eisen. Baryt reagiert in neutraler und oxidierender Atmosphäre mit Quarz (SiO₂) und Bleiglanz (PbS), dem Ausgangserz, bei ca. 1000 bis 1100 °C praktisch vollständig zu Bariumsilikat und Bleimetall⁵¹. Schwefel entweicht als gasförmiges SO₂. Bariumoxid ist im Gegensatz zu Calciumoxid in der Lage, Bleisulfid bereits bei Temperaturen von 200 bis 400 °C vollständig zu zerlegen. Bei dieser Reaktion entstehen u. a. metallisches Blei und Bariumsulfid⁵².

Ein bariumhaltiges Komplexsulfid konnte in mehreren Schlacken nachgewiesen werden (Tab. 3). Das Erscheinungsbild dieser Sulfideinschlüsse ist möglicherweise ein weiterer Hinweis darauf, daß eine solche Reaktion stattgefunden haben könnte. Abb. 18 zeigt u. a. eutekti-

sche oder eutektoide Gemenge von Bleisulfid mit bariumhaltigem Sulfid. Am Kontakt mit der BaO-reichen Grundmasse wird PbS angegriffen und zersetzt. Das dabei entstehende metallische Blei sammelte sich unter dem Steintropfen. Es ist hier nicht mit abgebildet. Bemerkenswert ist, daß das BaO trotz seiner Bindung im Silikatglas der Grundmasse für die Reaktion mit Bleisulfid zur Verfügung steht. Vielleicht wirkt hier begünstigend, daß es sich im Gegensatz zu CaO nicht in Kristallneubildungen, sondern in der Restschmelze anreichert (Tab. 2). Sulfatanteile dagegen konnten in der Matrix nicht mehr festgestellt werden, was angesichts der im Ofen zu erwartenden hohen Schwefelpartialdrücke erstaunlich ist. Die Fähigkeit bariumreicher Silikatschmelzen zur Zerlegung von Sulfiden versuchte man sich noch im 20. Jahrhundert zur Entschwefelung von Eisen zunutze zu machen⁵³. Barium wurde dabei als Schwerspat (BaSO₄) und nicht als BaO zugegeben. Der Wirkmechanismus ist jedoch seinerzeit nicht diskutiert worden, so daß hier noch Forschungsbedarf besteht.

Neben seiner Wirkung auf Sulfide ist Bariumoxid wegen seines basischen Charakters auch weit stärker als Calcium- oder Eisenoxid imstande, Bleioxid aus seinen Silikaten zu verdrängen. Es verhindert damit Verschlackungsverluste. Weiterhin senkt BaO den Schmelzpunkt der Schlacken⁵⁴. Schließlich wirkt es stark viskositätserniedrigend⁵⁵, was die Trennung der Stein- und Metallphasen von der Schlacke begünstigt.

Der vielfältige positive Einfluß des Bariums auf die Bleiverhüttung spiegelt sich in der negativen Korrelation von BaO und PbO in den Schlacken des Treppenhauer wider. Darf man annehmen, daß er den mittelalterlichen Hüttenleuten bereits bekannt war?

In diesem Zusammenhang ist folgender Geländebefund interessant: Auf dem Treppenhauer wurde unmittelbar im Siedlungsbereich Erzbergbau nachgewiesen, aber keine Verhüttung. Es handelt sich im wesentlichen um silberhaltigen Bleiglanz PbS, mit Baryt und Fluorit als Gangart. Ein Verhüttungsplatz wurde dagegen in ca. 2 km Entfernung im Zschopautal gefunden. In diesem Be-

reich konnten bisher keine Vererzungen festgestellt werden. Trotzdem befindet sich oberhalb der Schlackenhalde eine Reihe von kleinen Pingens, in denen Baryt streut. An diesem Platz ist daher die Gewinnung von Schwerspat als Zuschlag⁵⁶ für die Verhüttung sulfidischer Bleierze zu vermuten. Ob ein bewußter Einsatz als Zuschlagstoff auch an den anderen Fundpunkten bariumreicher Schlacken eine Rolle gespielt hat, ist momentan nicht sicher zu entscheiden.

Sieht man von der Wirkung Ba-reicher Schmelzen auf Bleisulfid ab, ist eine direkte Reduktion der Buntmetallsulfide mit Holzkohle nicht möglich. Es muß immer ein Teil des Schwefels durch Sauerstoff ersetzt werden. Dies kann in einem der Verhüttung vorgeschalteten Röstschritt erfolgen (Röst-Reduktions-Verfahren), aber auch einstufig durch ein entsprechendes Sauerstoffangebot zu Beginn der Verhüttung (Röst-Reaktions-Verfahren). Im ersten Fall wird das bei der Röstung gebildete PbO mit Holzkohle reduziert, im zweiten reagiert das während des Schmelzens entstehende PbO mit dem verbleibenden PbS unter Freisetzung von SO₂ zu metallischem Blei, in dem das Silber als eigentlicher Wertstoff gesammelt wird. Das in den Proben häufig zu beobachtende Nebeneinander von Bleisulfid und Bleimetall ist ein möglicher Hinweis darauf, daß keine vorgeschaltete Erzröstung stattfand. Dafür würde auch sprechen, daß archäologisch kein Röstplatz sicher zu identifizieren ist. Andererseits kann eine Röstung nicht ausgeschlossen werden. Die dabei ablaufende Oxidation von Bleisulfid ist nicht vollständig, und die im Röstgut verbleibenden Sulfide können sich dann erst im Schmelzofen umsetzen. Es ist also im Moment nicht ohne Zweifel zu entscheiden, welche Technologie zum Einsatz kam, obwohl eine Verhüttung ungerösteten Erzes favorisiert wird.

Technische Keramik

Neben den Schlacken wurden auch mehrere Funde technischer Keramik untersucht, die sämtlich aus Siedlungsreichen stammen. Aufgrund ihrer Form, vor allem aber nach der chemisch-mineralogischen Untersuchung der ihnen anhaftenden Schlackenspiegel wurden die Funde zunächst dem Blei-Silber-Probieren zugeordnet, der hüttenmännischen Analyse der Erze, Zwischen- und Endprodukte auf ihren Gehalt an Wertträgern, in diesem Fall an Silber. Dabei werden kleine, genau abgewogene Mengen des Probematerials in speziellen Gefäßen verschmolzen, wobei man sich eng an die großmaßstäblich angewandten Prozesse anlehnte. Aus dem Vergleich der Anleitungen des 16. mit

denen des 20. Jahrhunderts wird deutlich, daß sich besonders auch die trockene Silberprobe nahezu unverändert erhalten hat.

Die Ermittlung des Silbergehaltes einer Erz- oder Metallprobe läßt sich nach Carl Schiffner⁵⁷ in zwei Arbeitsgänge einteilen:

Verbleien (Eintränken)

Die Probe wird mit der mehrfachen Menge an Blei verschmolzen, in dem sich der überwiegende Teil des Silbers sammelt. Unedlere Metalle werden verschlackt.

Abtreiben (Kupellieren)

Das Blei-Edelmetall-Gemisch wird unter Luftzufuhr aufgeschmolzen. Dabei wird Blei mit etwa noch enthaltenen Verunreinigungen zu Bleiglätte oxidiert. Die Metallschmelze wird nach und nach immer silberreicher, bis am Ende reines Silber zurückbleibt.

Der erste Verfahrensschritt wird weiter unterteilt in die Tiegel- oder Tutenprobe und die Scherben- oder Ansiedeprobe⁵⁸. Erstere wird für oxidisches Gut angewendet, das unter Luftabschluß reduzierend mit Blei verschmolzen wird. Dabei entstehen ein silberreicher Regulus („König“) und relativ bleiarne Schlacken. Die Probe wird in gebrannten Tongefäßen durchgeführt, die wegen der erforderlichen Reduktionswirkung abgedeckt werden und daher hohe, schmale Formen aufweisen (Abb. 19).

Nach der Ansiedeprobe kann nahezu alles verschiedene Gut behandelt werden⁵⁹. Die Probe wird, gegebenenfalls mit Bleizusatz, unter Luftzutritt erhitzt („angesotten“). Die notwendige sauerstoffreiche Umgebung wird durch die Verwendung flacher offener Gefäße, Ansiedescherben, erreicht, die ebenfalls aus silikatischer Keramik bestehen. Das sich bildende Bleioxid nimmt die abzutrennenden Verunreinigungen mit sich und zersetzt zugleich die Sulfide unter Schwefeldioxid-Entwicklung teilweise zum Metall, in dem sich das Silber sammelt. Sowohl von Lazarus Ercker als auch von Schiffner wird beschrieben⁶⁰, daß bei ein und derselben Probe ein mehrfaches Ansieden nötig sein kann, bevor ein von allen Verunreinigungen hinreichend befreiter Bleikönig entsteht. Weiter werden zu große oder zu arme Könige auf neue Keramikscherben umgesetzt, um überschüssiges Blei zu oxidieren und den König kleiner und silberreicher zu machen („Konzentrationsprobe“)⁶¹. Die aggressive Wirkung der Bleioxid-Schlacke auf die Keramik wird dabei in Kauf genommen.

Die Kupellation der reinen, silberhaltigen Könige schließlich macht eine saubere Trennung von Bleiglätte und Silber er-



Abb. 20: Dreieckstiegel zur Verflüssigung von Silber aus der Engen Gasse in Freiberg

forderlich. Dies gelingt am ehesten, wenn die Kupellen aus einem saugfähigen, gegenüber Bleioxid reaktionsträgen Material gefertigt sind. Besonders geeignet ist Knochenasche, die neben CaO- und MgO-reichen Pulvern heute noch verwendet wird. Es kann jedoch auch Holzasche oder ein Gemenge aus Asche, Kalk und Ton benutzt werden. Bei vielen dieser Arbeiten wird die eigentliche Kupelle auch aus Mergel hergestellt, wobei man nur der Höhlung einen wenige Millimeter dicken Überzug aus Knochenasche gibt⁶².

Aus dem bisher Gesagten bleibt folgendes festzuhalten:

1. Sowohl Ansieden als auch Kupellieren sind Prozesse, bei denen Bleioxide neben Metallreguli entstehen: im ersten Falle ein silberreicher Bleikönig, im zweiten ein reiner Silberregulus.

2. Während beim Ansieden der Silberinhalt einer Probe im Blei gesammelt und angereichert wird, wird das Silber beim Kupellieren bzw. Treiben weiter konzentriert und schließlich rein abgetrennt. Die Konzentrationsprobe stellt einen Übergang zwischen beiden Schritten dar.

3. Ansieden und Kupellieren unterscheiden sich also nicht in der ihnen zugrundeliegenden chemischen Reaktion, sondern nur in dem beabsichtigten Grad der Silberanreicherung, d. h. der Zusammensetzung der Reguli. Daher kann die Untersuchung der anfallenden Schlacken nicht immer eindeutig klären, welcher Schritt im Einzelfall beabsichtigt war.

4. Eine verbale Differenzierung lassen zumeist die verwendeten Gefäße zu, obgleich sie oftmals ähnliche äußere Formen besitzen. Während Ansiedescherben aus SiO₂-reicher Keramik bestehen, wird für Kupellen CaO-reiches Material wie Knochenasche oder gebrannter Kalk verwendet. Die zur Bindung mit eingebrachte Tonkomponente bringt jedoch auch einen deutlichen Gehalt an SiO₂ mit sich. Da der im Einzelfall zugesetzte Anteil an Ton nicht festgelegt war,

sind definierte Grenzgehalte an SiO₂ für Kupellationsmaterial nicht ableitbar.

Die Funde

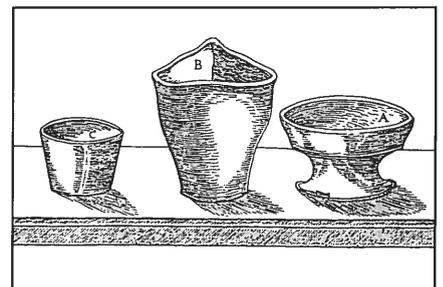
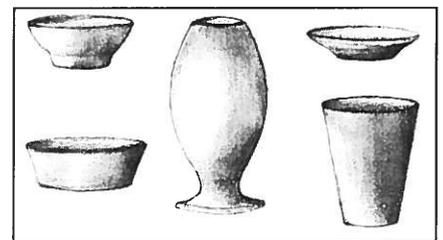
Schmelztiegel

Im Fundspektrum besonders auffallend sind die oftmals gut erhaltenen, großen graphithaltigen Tiegel mit dreieckigem Querschnitt (Abb. 20), die aus der Freiburger Altstadt und von der Burg Greifenstein stammen. In ihrem Inneren haften Silbertröpfchen, teilweise auch Sulfid- (Greifenstein) und Kupfertröpfchen (Freiberg). Meist fehlen Spuren chemischer Umsetzungen, so daß die Stücke als reine Schmelz- oder Gußtiegel angesprochen werden können. Sie weisen damit eher auf metallverarbeitende als metallgewinnende Tätigkeiten hin. Bemerkenswert ist ihre nahezu völlige Übereinstimmung in Größe, Form und Funktion mit den im 16. Jahrhundert beschriebenen dreieckigen Gußtiegeln (Abb. 21). Auch aus dem britischen und irischen Raum⁶³ sowie aus Österreich⁶⁴ sind derartige Tiegel, wenn auch kleiner, bekannt geworden. Ihre Form ist von Christi Geburt bis in die Neuzeit unverändert geblieben.

Ansiedescherben

Der weitaus größte Teil der geborgenen technischen Keramik besteht aus flachen tellerartigen Gefäßen mit anhaftenden Schlackenresten. Der Durchmesser der Gefäße schwankt zwischen 8 und 20 cm, womit die Größe frühneuzeitli-

Abb. 21: Probiergefäße. Moderne Probierkeramik, skizziert nach Schiffner 1912 (oben); Probierkeramik des 16. Jahrhunderts (unten) der heutigen wie der mittelalterlichen vergleichbar



Probe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	PbO	CuO	CaO	K ₂ O
F 3/1	74,0	1,6	12,8	5,0	1,3	n.b.	0,9	4,4
	66,0	1,2	15,9	6,1	0,8	n.b.	1,9	8,1
	69,8	n.b.	15,9	6,9	n.n.	n.n.	1,2	6,3
	63,9	n.b.	15,5	7,1	1,4	1,0	0,5	8,8
F 3/11	69,6	1,1	15,1	5,1	1,9	n.b.	1,5	4,9
T 3/7	66,0	3,3	20,1	3,3	1,6	n.n.	1,0	3,9
	72,9	2,3	14,5	2,1	3,9	0,5	0,6	2,6
T 3/8	72,8	2,1	15,9	3,3	1,3	n.n.	0,7	2,3
	67,0	2,8	17,6	3,2	3,2	0,3	0,7	2,8
	74,8	2,5	14,4	2,6	2,0	0,3	0,6	1,7

Tab. 4: EDX-Flächenanalysen (wenige mm²) der Keramik von Ansiedescherben. Angaben in Gew.-%; n.n. = nicht nachweisbar, n.b. = nicht bestimmt.

cher und moderner Probierkeramik zum Teil deutlich überschritten wird. Wesentliche Fundstellen sind die Enge Gasse 10 in der Freiburger Altstadt (Probenummern „F1“), die Bergbausiedlung bei Neuhilbersdorf („N“) und der Treppenhauer („T“). Die Gefäße aus dem Freiburger Raum sind wie Uhrglasschälchen geformt und haben keinen festen Standboden. Die Keramik ist grob geglimmert und mit Quarz gemagert. Die Scherben vom Treppenhauer dagegen verfügen über einen glatten, vom Model abgehobenen Boden. Ihre Keramik enthält weniger Glimmer und ist dichter gebrannt als die der Freiburger Stücke, weist jedoch ebenfalls eine grobe Quarzmagerung auf. Tabelle 4 gibt EDX-Analysen verschiedener Keramikproben.

Schmelzreste haften nicht nur an den Innenseiten der Gefäße, sondern zum Teil auch auf Bruchflächen und am Außenboden. Sie sind unregelmäßig geformt und meist grau oder graugelb gefärbt. Gelegentlich lassen sie Abdrücke von Reguli erkennen. Im Schliff wird deutlich, daß die Schlacken überwiegend glasig sind. Hauptkomponenten sind in allen Fällen Bleioxid mit 67–92 Gew.-% und Kieselsäure zwischen 8 und 22 Gew.-% (Tab. 5). Dieses bleioxidreiche Glas läßt darauf schließen, daß während des Schmelzvorganges oxidierende Bedingungen herrschten. Bleisilikatschmelzen mit einem PbO-Gehalt von unter 78 Gew.-% sind bereits nicht mehr aggressiv gegenüber SiO₂⁶⁵. Die im Vergleich zu den Wandstärken der Scher-

ben meist dünnen Schlackenspiegel lassen erkennen, daß auch Schlacken mit über 78 Gew.-% PbO die Gefäße nicht wesentlich in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigen würden. Aluminium, Calcium und Eisen sind mit Ausnahme eines Scherbens vom Treppenhauer (T3/7) nur untergeordnet am Aufbau der Schlacken beteiligt. Durch den Angriff der bleioxidreichen Schmelze auf die Silikate der Keramik finden sich isometrische Kristallneubildungen: Kalsilit, K[AlSiO₄], und Leucit, K[AlSi₂O₆], weiterhin ein komplexes Kalium-Blei-Alumosilikat, ein würfeliges, hochlichtbrechendes Calcium-Blei-Silikat, Ca₂Pb₄[SiO₄]₃ sowie verschiedene komplexe Oxide⁶⁶.

Die Funde aus Freiberg enthalten zahlreiche Metalleinschlüsse (Abb. 22). Sie bestehen größtenteils aus Blei, das als Entmischung bis zu 2 Gew.-% Silber enthalten kann. Auffallend häufig haben sich Kupfertröpfchen ausgeschieden. Charakteristisch sind besonders im Bereich der Regulusabdrücke auftretende Oxidationsfronten, die häufig parallel zur Schlackenoberfläche verlaufen. Sie sind durch Bleioxidtafeln markiert, die bei ihrer Erstarrung noch flüssiges Bleimetall umschlossen. Die Reaktion der kieselsäurehaltigen Keramik des Scherbens mit dem Bleioxid dokumentiert sich in der Entwicklung zunehmend SiO₂-reicher Bleisilikate mit wachsender Entfernung vom Bleikern (Abb. 23).

Tab. 5: WDX-Analysen der Glasmatrix aus Ansiedescherben. Kristallisierte Bestandteile bzw. Metalleinschlüsse blieben unberücksichtigt, so daß diese Messungen nicht den Pauschalchemismus der Schlacken repräsentieren. Die inhomogene Beschaffenheit der Probe T 3/8 spiegelt sich in der deutlich höheren Standardabweichung wider. Angaben in Gew.-%; n.n. = nicht nachweisbar.

A = Meßpunkte (Mp) am Übergang zum Keramikscherben,
 B = Mp um einen Einschuß von Keramik,
 C = Mp neben Bleimetalleinschuß,
 D = Mp an der Schlackenoberfläche,
 E = Mp nahe Einlagerungen silberärmerer Cu-Ag-Mischkristalle,
 F = Mp nahe Einlagerungen silberreicherer Cu-Ag-Mischkristalle,
 G = Mp gleichmäßig über den Schliff verteilt.

1 = Mittelwert
 2 = Standardabweichung

Probe	Bereich	Anzahl der Meßpunkte		SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	PbO	CuO	CaO	K ₂ O	Summe
F 3/1	A	3	1	9,24	1,51	0,75	83,98	0,90	0,10	0,05	96,52
			2	0,10	0,02	<0,01	0,16	0,02	<0,01	0,02	0,26
	B	9	1	10,59	1,89	0,64	80,40	0,72	0,24	0,10	94,59
			2	1,18	0,34	0,10	2,26	0,14	0,17	0,06	1,13
	C	7	1	8,82	1,52	0,79	83,36	0,99	0,27	0,06	95,82
			2	0,36	0,07	0,03	1,07	0,05	0,21	0,02	0,92
	D	7	1	8,12	1,59	0,71	81,88	0,62	0,66	0,09	93,73
			2	0,74	0,14	0,10	1,39	0,18	0,66	0,05	0,91
T 3/7	E	9	1	19,06	2,71	n.n.	71,38	2,99	3,87	0,18	100,15
			2	1,06	0,86		1,54	0,77	1,43	0,10	1,50
	F	9	1	19,01	4,90	n.n.	70,11	4,24	1,14	0,35	99,74
			2	0,69	0,35		1,65	0,98	0,06	0,05	0,83
T 3/8	G	5	1	10,32	1,05	0,63	88,89	0,94	0,96	0,06	102,77
			2	2,34	0,21	0,14	3,40	0,37	1,60	0,07	1,42

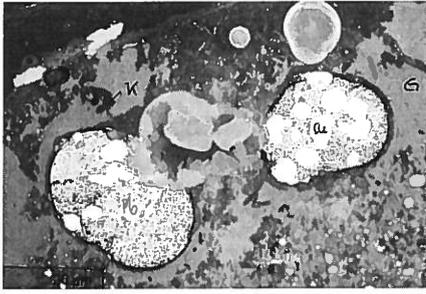


Abb. 22: Probe F 3/1. Auflicht, parallele Nicols. Charakteristische Einschlüsse in den Ansiedescherben der Freiburger Altstadt als Reste des Sammlermetalles Blei (Pb) mit Kupfer (Cu). Die Grundmasse ist ein Bleisilikatglas (G); in der Nähe der Keramik (oben links, dunkel) Kalsilikatkristalle (K)

Die beschriebenen Beobachtungen stellen diese Funde als Bruchstücke benutzter Ansiedescherben dar. Dabei stellt sich die Frage, was in ihnen angesotten worden ist. Relikte sulfidischer Kupfer- oder Bleierze sind in den Freiburger Scherben nicht vorhanden, wären aber bei Einsatz entsprechender Erze zumindest partiell zu erwarten. Auch ist die Bildung der beobachteten großen Mengen an metallischem Kupfer aus Kupfersulfid nur über den Umweg von Kupferoxid möglich, das, trotz generell oxidierender Bedingungen, ebenfalls nicht gefunden wurde. Es ist möglich, daß auf diesen Scherben Metalle (Kupfer-Silber-Legierungen?) angesotten wurden. Die Reaktionsabläufe beim Probieren sind die gleichen wie bei der großmaßstäblichen Gewinnung von Silber. Angesichts der teilweise beachtlichen Größe der Gefäße aus der Engen Gasse kann eine entsprechende Zuordnung nicht eindeutig erfolgen.

Anders verhält es sich mit den Funden vom Treppenhauer, von denen der Ansiedescherben T3/8 Eisen als eine Hauptkomponente⁶⁷ des Schlackenspiegels enthält. Im Schliff ist ein ausgedehntes poröses Aggregat von Bleisulfid, Bleimetall und Silber angeschnitten (Abb. 24), weiterhin sind Pyrrhotin (ca. FeS), teilresorbierter Baryt, Quarz und ein Eisen-Magnesium-Silikat erkennbar. Insgesamt enthält dieser Scherben von allen Proben weitaus am meisten Silber. Hier wurde sicherlich ein reiches sulfidisches Erz angesotten.

Die Scherben T3/1 und 3/2 sind, bei normaler quarzgemagerter Keramik, durch anhängende, auch in Risse eingedrungene Tropfen und Krusten von Bleiglätte gekennzeichnet. Die Reaktionszone zwischen Bleioxid und Keramik ist dabei sehr schmal, so daß eventuell nur ein kurzzeitiger Kontakt zwischen heißer Glätte und Scherben bestand, ehe die Schmelze erstarrte (Abb. 25). Es haben sich keine Reste erhalten, die Rückschlüsse auf das eingesetzte Material

erlauben. Im Kontext wurden Bleiglättestücke und entsilbertes Weichblei mit einem Silbergehalt von 45 ppm gefunden. Dies und der Bleigehalt der umgebenden Lehntenne von 550 ppm weisen aber auf einen Zusammenhang mit dem Treibeprozess hin.

Auffallend ist die Probe T 3/7. Sie enthält in einem sehr sauberen, homogen zusammengesetzten und relativ kieselsäu-

reichen Bleisilikatglas (Tab. 5) Tridymit neben idiomorphen Leucitkristallen. Hier ist offenbar ein stabiles Gleichgewicht erreicht worden, was auf eine langdauernde Reaktion hindeutet. Bemerkenswert sind zahlreiche Einschlüsse von silberhaltigen Kupferendriten, die teilweise von einem Kupferoxid-Saum umgeben sind. Die Silbergehalte streuen in zwei eng benachbarten Bereichen um knapp 3 bzw. um

Abb. 23: Probe F 3/11. Durchlicht, parallele Nicols. Tafeln von Bleioxid (O) umschließen Bleimetall (opak). Aus der Keramik des Scherbens herausgelöstes SiO₂ wandelt die Bleisilikat um

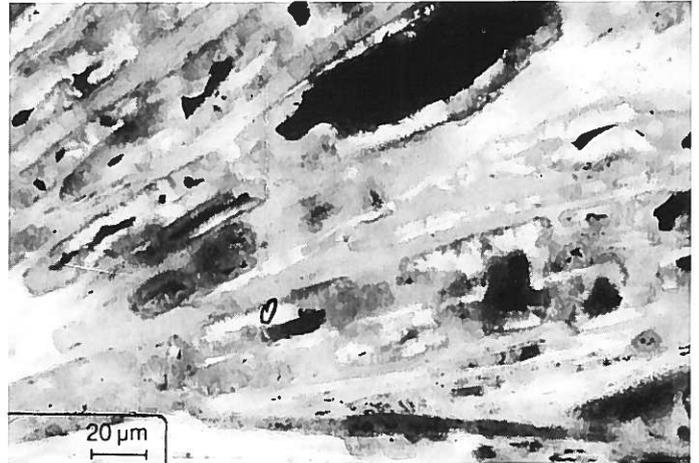


Abb. 24: Probe T 3/8. Auflicht, parallele Nicols. In Blei-Eisen-Silikatglas (G) ein Aggregat aus Bleisulfid (Bs) und Blei (Pb), dazwischen eingestreut Silbertröpfchen; Sulfide im Schlackenspiegel belegen Erzansiede-Prozesse

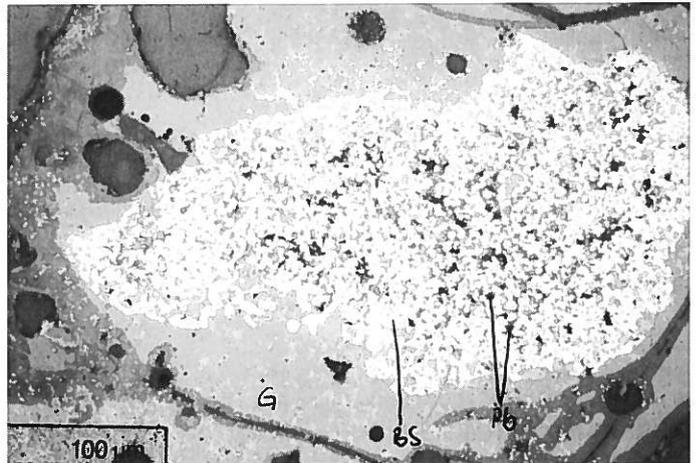
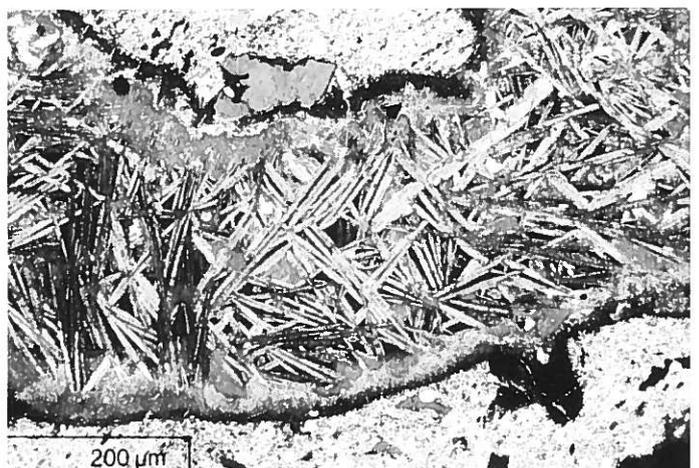


Abb. 25: Probe T 3/5. Durchlicht, gekreuzte Nicols. Bleioxidtafeln (O) in Hohlraum des Scherbens; nur schmale Reaktionszonen am Übergang zu Quarz (Qz)



Probe		SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	PbO	CuO	CaO	MgO	K ₂ O	Ag	P ₂ O ₅
F 4/1	1	4,8	0,8	0,5	83,0	1,6	6,3	n.b.	0,3	1,4	1,1
	3	20,8	2,4	2,1	1,2	n.n.	62,8	n.b.	1,6	n.n.	9,1
F 4/2	1	5,3	0,5	0,9	83,8	1,8	6,7	0,2	n.n.	n.n.	0,8
	2	6,0	1,1	0,4	80,4	n.n.	8,9	0,6	1,3	0,4	0,6
	3	8,7	3,2	n.n.	72,8	0,3	9,5	1,2	3,4	n.n.	0,9
N 4/1	1	10,8	1,1	1,4	75,7	1,1	7,7	n.b.	0,3	0,4	1,4
	2	4,0	0,7	0,6	86,6	0,9	6,3	n.n.	n.n.	n.n.	0,9
	3	9,9	2,4	2,5	74,9	0,5	6,8	n.b.	1,5	0,6	0,9

Tab. 6: EDX-Flächenanalysen (wenige mm²) mit Bleioxid durchsetzter Gefäße. Analysiert wurde der 1: obere (innere), 2: mittlere und 3: untere (äußere) Bereich der im Profil angeschnittenen Funde (vgl. Abb. 10). Angaben in Gew.-%; n.n. = nicht nachweisbar, n.b. = nicht bestimmt.

7 Gew.-%⁶⁸, unabhängig vom Vorhandensein eines Cupritsaums.

Insgesamt ist die Interpretation dieses Fundes schwierig: Die Raffination von Kupfer oder das Ansieden von Erzen ist unwahrscheinlich, da keine entsprechenden Verunreinigungen in der Schlacke gefunden wurden. Zu vermuten ist das Ansieden einer silberreichen Kupferlegierung. Das völlige Fehlen von metallischen Bleieinschlüssen, die in allen anderen Ansiedescherben gefunden wurden, läßt offen, wie der gewonnene Regulus zusammengesetzt war. Eventuell handelt es sich um eine zu lang geschmolzene oder mit ungenügenden Bleimengen versetzte Charge.

Kupellen

Einer der Funde aus Neuhilbersdorf sowie wenige Proben aus der Engen Gasse 10 in Freiberg (F 4/1 und 4/2) weisen von den Ansiedescherben abweichende typologische Merkmale auf. Die Bruchstücke aus der Engen Gasse lassen darauf schließen, daß es sich um flache Schalen handelte, ihre Größe ist aber nicht mehr rekonstruierbar. Die auffällig hohe Dichte läßt vermuten, daß es sich um mit Bleioxid vollgesogene Kupellen handelt. Der Fund aus Neuhilbersdorf (N 4/1) läßt keinen Übergang zwischen Schlackenspiegel und keramischem Körper mehr erkennen. Das Bruchstück ist einheitlich 15 mm dick, sonst aber unregelmäßig geformt. Im Gefüge dominieren gleichmäßig verteilte Nester sperriger Bleioxidtafeln. Weiterer Hauptbestandteil sind Bleisilikate stark schwankender Zusammensetzung. Dazwischen eingestreut finden sich Kalisilit, K[AlSiO₄], und ein idiomorpher Olivin (Ca,Mg)₂[SiO₄]. Wie in manchen Ansiedescherben tritt Calcium-Blei-Silikat Ca₂Pb₄[SiO₄]₃ auf, hier gehäuft an den Rändern des Stückes. Weiter-

hin wurde Kupfer-Blei-Oxid gefunden. Im oberen Bereich ist ein Silbertropfen zwischen die PbO-Tafeln gesogen.

In den beiden untersuchten Freiburger Proben finden sich neben idiomorphem Kupfer erhebliche Mengen an Bleimetall, teilweise sekundär umgewandelt. Das bei der Erstarrung des Bleis auf Korngrenzen ausgeschiedene Silber ist dabei unangegriffen geblieben, so daß das primäre Gefüge noch erkennbar ist. Ein weiterer Unterschied zu dem Fund aus Neuhilbersdorf liegt darin, daß eine der Freiburger Proben (F 4/1) noch die ehemalige Keramik erkennen läßt, und im makroskopischen Erscheinungsbild kann es fließende Übergänge zwischen Ansiedescherben und Kupellen geben (Abb. 26). Im Bereich der Keramik ist PbO stets als Silikat gebunden, während der aufsitzende Schlackenspiegel hauptsächlich aus freiem Bleioxid besteht.

Am unteren Rand beider Freiburger Proben sind vereinzelt reliktsche, stark angegriffene Quarzkörner erhalten, die als Magerungsbestandteile interpretiert werden. Tabelle 6 gibt EDX-Analysen jeweils aus dem oberen, mittleren und unteren Bereich der untersuchten Funde. Ein direkter Vergleich mit den entsprechenden Analysen der Ansiedescherben (Tab. 4, 5) ist durch die unterschiedlichen Gefüge und die extremen Bleigehalte erschwert. Trotzdem läßt sich erkennen, daß das Verhältnis CaO:SiO₂ in den „Kupellen“ stark zugunsten des CaO verschoben ist. Der wesentliche Ca-Anteil ist aber an sekundäre Calcitkristalle in Hohlräumen gebunden. Diese Erscheinung tritt auch in den Ansiedescherben auf, aber wegen deren geringeren Porenvolumens nicht in so starkem Ausmaß. Die Möglichkeit einer Ca-Einwanderung während der Bodenlagerung ist daher nicht auszuschließen.

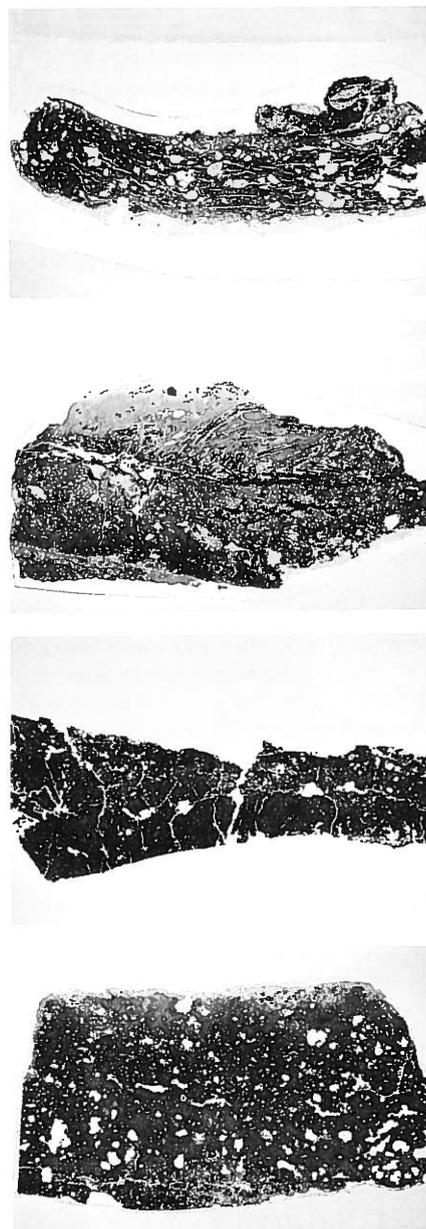


Abb. 26: Profilansichten von Probierkeramik. Oben ein Ansiedescherben, unten eine Kupelle; die dazwischen abgebildeten Gefäße sind keiner der beiden Gruppen klar zuzuordnen (Reihenfolge der Proben von oben nach unten: F 3/1, F 4/1, F 4/2, N 4/1)

Schwer zu interpretieren sind auch die Phosphorgehalte. Sie liegen weit unter denjenigen, die bei Verwendung von reiner Knochenasche zu erwarten wären. Die sekundäre Einwanderung von Phosphor aus Kulturböden ist bekannt und kann nicht vernachlässigt werden. Die Verteilung von Phosphor mit seiner augenfälligen Konzentration auf der Oberseite (Abb. 27)⁶⁹ macht es jedoch wahrscheinlich, daß das verwendete Gefäß auf seiner Innenseite einen dünnen Überzug aus Knochenasche oder aschehaltigem Material besaß.

Zu dieser Fundgruppe bleibt festzuhalten:

1. Der Fund aus Neuhilbersdorf enthält kein metallisches Blei, wohl aber ein solides Silberkorn zwischen Bleiglättetafeln. Der Prozeß der selektiven Bleioxidation zur Gewinnung des reinen Silbers (Kupellation oder Treiben) wurde demnach bis zu Ende durchgeführt. Die Form des Fundes läßt eher an eine Treibherdauskleidung als an eine Kupelle denken.
2. Die Funde aus Freiberg dagegen enthalten Silber nur als geringe Ausscheidungen aus eingesickertem Bleimetall. Die Silberanreicherung ist hier nicht wesentlich weiter fortgeschritten als in den Ansiedescherven⁷⁰. Reste einer Quarzmagerung sowie die teilweise noch erkennbare Grenze zwischen Keramik und Schlacke belegen eine enge Verwandtschaft zu den Ansiedescherven, während die deutlich erhöhten Calcium- und Phosphorgehalte, interpretiert als Knochenascheüberzug, auf ihre mögliche Verwendung als Kupellen hinweisen.

Zusammenfassung

Nach der Aussonderung der weitverbreiteten Schmiedeschlacken konnten im Rahmen dieser Studie zwei Gruppen von Bleischlacken anhand ihres unterschiedlichen Bariumgehaltes auseinandergelassen werden. Beide Gruppen deuten nach den bisher vorliegenden Ergebnissen auf eine Verhüttung sulfidischer Erze nahe der Lagerstätten hin. Die Schlackenzusammensetzung ergibt sich aus der begleitenden Gangart, wobei die positive Auswirkung des Bariums auf das Bleiausbringen offenbar bekannt war und gezielt eingesetzt wurde, soweit barytführende Gänge lokal verfügbar waren.

Die technische Keramik, deren Funde aus Siedlungskontexten stammen, ließ sich dem trockenen Probieren auf Silber zuordnen. Für einige der untersuchten Scherben kann wegen ihrer Größe nicht ausgeschlossen werden, daß in ihnen die Gewinnung von Silber betrieben wurde. Bemerkenswert erscheint die teilweise verblüffende Ähnlichkeit der verwendeten Gefäßformen und Verfahren mit denen in frühneuzeitlichen ebenso wie in modernen Beschreibungen. Die Differenzierung zwischen Ansieden und Kupellieren, zwischen Ansiedescherven und Kupellen, kann dabei der Ähnlichkeit der Prozesse wegen nicht immer eindeutig gelingen. Ob dies auf noch unvollständig ausdifferenzierte Verfahren während der ersten Bergbauperiode im Erzgebirge hindeutet oder eventuell eine Folge der geringen Probezahl ist, läßt sich gegenwärtig nicht entscheiden.

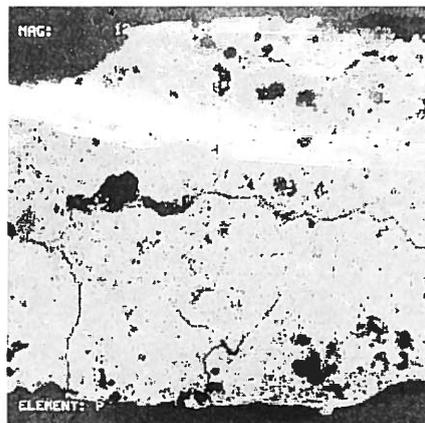


Abb. 27: Elementverteilungsbild von Phosphor in Probe F 4/2. An Calcium gebunden, ist Phosphor vorwiegend im oberen Teil des Scherbens vorhanden, vielleicht infolge eines dünnen Knochenasche-Überzuges

Anmerkungen

- 1 Zu den technikgeschichtlichen Untersuchungen für den (früh)neuzeitlichen Bergbau vgl. Wagenbreth/Wächter 1986.
- 2 Die Arbeiten wurden ständig vom Landesmuseum für Vorgeschichte Dresden (jetzt Landesamt für Archäologie), besonders durch seine ehemaligen Direktoren Prof. Dr. W. Coblentz und Dr. H.-J. Vogt in dankenswerter Weise gefördert. Die Grabungen wurden unter der Leitung von Dr. W. Schwanicky durch die Arbeitsgemeinschaft Ur- und Frühgeschichte beim Kulturbund der DDR (Ortsgruppe Mittweida) begonnen und später durch die Kreisarbeitsstelle für Bodendenkmalpflege Mittweida weitergeführt.
- 3 Das Forschungsvorhaben „Archäometallurgische Erkundungen zum hochmittelalterlichen Montanwesen im sächsischen Erzgebirge und Erzgebirgsvorland“ wird mit finanzieller Förderung durch die Volkswagen-Stiftung betrieben. An dem Projekt arbeiten die Kreisarbeitsstelle für Bodendenkmalpflege beim Landratsamt Mittweida (Dr. W. Schwabenicky), das Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg (Dr. U. Thiel, Dipl.-Hist. U. Richter), das Institut für Geophysik der TU Bergakademie Freiberg (Prof. Dr. H. Lindner, Dr. R. Käppler), das Institut für Archäometallurgie beim Deutschen Bergbau-Museum Bochum (Dr. A. Hauptmann, Dr. Th. Rehren) und das Landesamt für Archäologie in Dresden (Dr. J. Oexle, Dipl.-Min. K. Eckstein). In enger Kooperation zwischen den beiden letztgenannten Instituten arbeitet K. Eckstein z.Z. im Rahmen eines Stipendiums der Volkswagen-Stiftung. Gedankt werden muß weiteren montanarchäologischen Forschungsgruppen für die Übermittlung von Erfahrungen und den wissenschaftlichen Austausch, insbesondere den Herren Prof. Dr. H. Steuer, Dr. U. Zimmermann und Dr. G. Goldenberg (alle Universität Freiburg), sowie Dr. L. Klappauf (Institut für Denkmalpflege Hannover) und Prof. Dr. W. Brockner (Technische Universität Clausthal).

- 4 Lindner/Käppler 1993.
- 5 Simon 1993. Als Beleg für solche frühe bergbauliche Aktivitäten kann ein brotlaibförmiger Mahlstein angesehen werden, der sich beispielsweise mit Funden aus dem antiken Kupferbergbau im Timna-Tal im Süden Israels vergleichen läßt, – vgl. Ordentlich/Rothenberg 1980, S. 176 f. Der Mahlstein wurde in der Nähe nicht genauer datierbarer Pingen im Küchwald bei Mittweida gefunden. Die Annahme, daß er mit der Metallerz- oder der Zinnengewinnung in Zusammenhang steht, wird durch die Tatsache gestützt, daß die hier vorhandenen pleistozänen Sedimente mit Kassiterit (Zinnstein SnO_2) angereichert sind, wobei es sich um erzgebirgische Abtragungsprodukte handeln dürfte. Hier würde eine Möglichkeit bestehen, der Frage nach urgeschichtlicher Erzgewinnung weiter zielgerichtet nachzugehen, – vgl. Hartisch/Rentzsch o. J.
- 6 Geupel 1992.
- 7 Geupel/Hofmann 1993.
- 8 Schwabenicky 1984, S. 7 f. und 13.
- 9 Sächsisches Hauptstaatsarchiv, Außenstelle Freiberg, BA F/A1/2774, Bl. 14–33b.
- 10 Köhler 1955, S. 32.
- 11 Goldenberg 1990, S. 163 ff.; ders. 1993, S. 240 ff.
- 12 Sächsisches Hauptstaatsarchiv, Außenstelle Freiberg, BA F/C/29/Lit F, Bergbehebungsbuch 1553–1561, Bl. 204 b.
- 13 Ebd., BA F/C/29, 1604–1612.
- 14 Stadtarchiv Mittweida, Grundherrschaft Neusorge.
- 15 In der Zschopauweiterung bei Gunnersdorf oberhalb von Frankenberg wurden Auelehmbildungen von 2,7 m Mächtigkeit beobachtet. Die Terrassenränder an den besiedelten Bachauen bestehen aus bis fast 2 m starken kolluvialen Ablagerungen, – vgl. zusammenfassend Schwabenicky 1990 b.
- 16 Hierbei sei besonders dem engagierten Einsatz von Frau Prof. Dr. E. Lange (Berlin) und Herrn Ing. Alf Steiger (Dresden) gedankt – vgl. auch Lange 1989, S. 34 ff.
- 17 Herrmann 1953.
- 18 Magirius 1972, S. 183.
- 19 Vgl. zuletzt Schwabenicky 1992 c, S. 205 f.
- 20 Der jahrelangen Arbeit ehrenamtlicher Kräfte, die sich in der Interessengemeinschaft Bodendenkmalpflege (jetzt im Freiburger Altertumsverein) zusammengeschlossen haben, ist es zu verdanken, daß wichtige Zeugnisse des mittelalterlichen und neuzeitlichen Bergbaues gerettet worden sind.
- 21 An den Geländebegehungen nahmen außer dem Verfasser die Herren B. Standke und Dr. U. Thiel teil.
- 22 Schwabenicky 1991, S. 30.
- 23 Grimm 1990, S. 105 f.
- 24 Die metallurgischen Untersuchungen wurden von Kerstin Eckstein durchgeführt. Sie war auch an beiden Sondierungen beteiligt.
- 25 An den Prospektionen und an der Sondierung war neben dem Verfasser auch B. Standke beteiligt.
- 26 Ermisch 1886, S. 450.
- 27 Dallmann/Gühne 1993.
- 28 Die Analysen führte Kerstin Eckstein durch. Die Notbergung in der Engen Gasse wurde von Mitgliedern der Interessengemeinschaft Bodendenkmalpflege vorgenommen.
- 29 Gühne 1985, S. 343 f.; ders. 1992, S. 30.; Vogt 1972, S. 54 f.
- 30 Richter 1992.
- 31 Die Untersuchungen wurden unter Leitung des Verfassers durch das Denkmalamt der Stadt Freiberg und mit Unterstützung der Gesellschaft für Strukturentwicklung und Qualifizierung vorgenommen (GSQ).

- 32 Die Notbergungen führte unter Leitung des Verf. das Denkmalamt der Stadt Freiberg mit Unterstützung der GSQ durch.
- 33 Schwabenicky 1991, S. 8 und 26 f.
- 34 Geupel 1992.
- 35 Richter/Smetanka 1987.
- 36 Unger 1963, S. 66–91.
- 37 Ermisch 1891, S. 1–177.
- 38 Nachdem Unger 1963, S. 30 ff., bereits auf die im Freiburger Stadtrecht stehende Zweiteilung des Zuständigkeitsbereiches (Bergstadt und Nahmarktort) verwiesen hat, ohne auf die Ursachen einzugehen, gebührt dieses Verdienst Wolfgang Schwabenicky, der sich damit in seiner 1990 der Berliner Humboldt-Universität vorgelegten Dissertation befaßt hat: Der mittelalterliche Silber-, Blei- und Kupferbergbau im mittleren und westlichen Erzgebirge sowie im Erzgebirgsvorland unter besonderer Berücksichtigung der Grabungsergebnisse vom Treppenhauer bei Sachsenburg, vgl. bes. S. 136 ff.
- 39 Müller 1901; Baumann 1968.
- 40 Goldenberg 1990, S. 169.
- 41 Obwohl es sich bei Schlackenphasen um künstliche Verbindungen handelt, werden im allgemeinen die Bezeichnungen für die entsprechenden natürlich vorkommenden Minerale benutzt.
- 42 Es sind überwiegend Kalium-Aluminium-Silikate leucitischer bis kalsilitischer Zusammensetzung; detailliertere Untersuchungen hierzu sind nicht durchgeführt worden.
- 43 Keesmann 1985, S. 356 f.
- 44 Sie sind deshalb in Tabelle 1 nicht aufgeführt.
- 45 Hauptmann/Pernicka/Wagner 1988, S. 4 f.; Craddock u. a. 1985, S. 205; Keesmann 1990, S. 109; Goldenberg 1990, S. 160 ff.; Kassianidou 1992, S. 8.
- 46 EDX: Energiedispersive Röntgenmikroanalyse, halbquantitativ; WDX: Wellenlängendispersive Röntgenmikroanalyse, quantitativ.
- 47 Tafel/Wagenmann 1951, S. 267.
- 48 Als opak werden im Mikroskop lichtundurchlässige Phasen bezeichnet. Im vorliegenden Fall sind dies Metalle, Sulfide und Arsenide, also „Steine“ und „Speisen“, sowie manche Eisenoxide.
- 49 Die Definition von „silberarm“ und „silberreich“ ist weitgehend von wirtschaftlichen Gegebenheiten abhängig und damit historisch extremen Schwankungen unterworfen gewesen. Hier sollen die primären silberführenden sulfidischen Bleierze abgegrenzt werden von den sog. Reicherzen der Oxidationszone und von gediegenem Silber.
- 50 So 1994 Gert Goldenberg auf der Jahrestagung des Arbeitskreises Archäometrie.
- 51 Schütz 1911, S. 231.
- 52 Biltz 1926, S. 9; Tafel/Wagenmann 1953, S. 21.
- 53 Powley/Floridis 1970, S. 313.
- 54 Levin/Robbins/McMurdie 1979, S. 195, Fig. 556; Tafel/Wagenmann 1951, S. 321.
- 55 Ebd., S. 106.
- 56 Der Begriff „Zuschlag“ bedeutet, daß die betreffenden Stoffe der Charge bewußt zugesetzt wurden und nicht infolge mangelnder Aufbereitung etc. mit in den Schmelzöfen gelangten.
- 57 Schiffner 1912.
- 58 Bei der Bezeichnung der verschiedenen Typen von Schmelzgefäßen gibt es in der Literatur keine klare Übereinkunft. In dieser Publikation werden in Anlehnung an Ercker und Schiffner als „Tiegel“ stets hohe, schmale Schmelzgefäße bezeichnet. „Scherben“ (Ansiedescherben) sind immer flache Schalen, in denen unter oxidierenden Bedingungen silberreiche Bleiregulie entstehen. Für die letzte Bleioxidation bis zur Abtrennung eines reinen Silberregulus benutzt man „Kupellen“. Han-

delt es sich jedoch nicht um Dokimasie, sondern um industrielles Bleitreiben zur Silbergewinnung, sollen die entsprechenden saugfähigen Materialien als Treibherd-Auskleidungen bezeichnet werden. Letztere sind in der Regel keine freistehenden Gefäße.

- 59 Nach Ercker 1960, S. 69, galt offenbar die Ansiedeprobe als die bei weitem bessere Methode. Zu erwähnen ist, daß die Tiegelprobe noch nicht im heutigen Sinne durchgeführt wurde. Vielmehr wurde das Probiergut nach dem Schmelzvorgang im Tiegel in jedem Falle noch vor dem Abtreiben oxidierend auf einem Scherben behandelt, – vgl. Agricola 1928, S. 207, und Ercker 1960, S. 69. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hat man in Europa die Ansiede-, in Amerika dagegen die Tiegelprobe bevorzugt, – vgl. Schiffner 1912, S. 64.
- 60 Ercker 1960, S. 67; Schiffner 1912, S. 74.
- 61 Ebd., S. 74 f.
- 62 Ebd., S. 49.
- 63 Bayley 1988, S. 198 f.; dies. 1992, S. 93.
- 64 Osten 1992, Abb. B 5–B 190.
- 65 Levin/McMurdie 1975, S. 124 f., Fig. 4352 f.
- 66 Vgl. demnächst Rehren, Thilo/Hauptmann, Andreas: Silberaffinations-Schlacken der Insula 39, Colonia Ulpia Traiana, Xanten: Ihre mineralogische Untersuchung und archäometallurgische Interpretation, in: Xantener Berichte. Grabung, Forschung, Präsentation, Bd. 6.
- 67 Das Eisen liegt überwiegend in Form auskristallisierter Mischoxide vor; der in Tabelle 5 angegebene Eisengehalt ist nur für den Glasanteil der Schlacke repräsentativ.
- 68 Die Bereiche sind weniger als 2 mm voneinander entfernt, überlappen sich jedoch nicht. Die Schwankungsbreite der WDX-Analysen liegt für jeden der beiden Bereiche bei rd. 1 Gew.-% Ag. Die Zusammensetzung liegt im Rahmen des Alpha-Mischkristalls im System Kupfer–Silber.
- 69 Die Verteilungsbilder zeigen höhere Elementgehalte durch hellere Bildpunkte an. In beiden Freiburger Proben war eine Anreicherung von Phosphor und Calcium an der Oberseite zumindest ansatzweise zu erkennen. Davon unabhängig traten Calciumanreicherungen in Hohlräumen der gesamten Probe auf.
- 70 Die nur geringe Silberanreicherung steht nicht unbedingt im Widerspruch zu einer Prozeßführung, die später bis zum reinen Silber führt. Ganz ähnliche Gefüge sind den Autoren aus einer mittelalterlichen Treibherdauskleidung aus dem Harz bekannt, wo offenbar zu Beginn des Prozesses Werkblei in die Auskleidung sickerte.

Bibliographie

- AGRICOLA, Georgius:
1928 Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen, Buch VII: Vom Probierenwesen, bearbeitet von Carl Schiffner, Berlin 1928.
- BAUMANN, Ludwig:
1968 Die Mineralparagenesen des Erzgebirges – Charakteristik und Genese, Leipzig 1968 (= Freiburger Forschungshefte. C 230), S. 217–233.
- BAYLEY, Justine:
1988 Non-ferrous Metal Working: Continuity and Change, in: Science and Archaeology. Proceedings of a conference on the application of scien-

- tific techniques to archaeology, Glasgow, September 1987. BAR British Series 196, S. 193–208.
- 1992 Viking Age Metalworking – The British Isles and Scandinavia compared. Technology and Innovation. Medieval Europe 1992, Preprinted Conference Papers, vol. 3, S. 91–96.
- BILTZ, W.:
1926 Über Entschwefelung von Schwermetallsulfiden durch Bariumoxid, in: Zeitschrift für anorganische Chemie 150, 1926, H. 2, S. 1–9.
- CRADDOCK, Paul T./FREESTONE, Ian C./GALE, Noel H./MEEKS, Nigel D./ROTHENBERG, Beno/TITE, Mike S.:
1985 The Investigation of a Small Heap of Silver Smelting Debris from Rio Tinto, Huelva, Spain, in: Furnaces and Smelting Technology in Antiquity, London 1985 (= British Museum Occasional Papers. 48), S. 199–218.
- DALLMANN, Wolfgang/GÜHNE, Arndt:
1993 Archäologische Belege zur Frühzeit des Bergbaus und des Hüttenwesens im Revier Freiberg/Sachsen, in: Steuer, Heiko/Zimmermann, Ulrich (Hrsg.): Montanarchäologie in Europa, Sigmaringen 1993 (= Archäologie und Geschichte. 4), S. 343–352.
- ERCKER, Lazarus:
1960 Beschreibung der allervornehmsten mineralischen Erze und Bergwerksarten vom Jahre 1580, übersetzt von P. R. Beierlein, kommentiert von A. Lange, Berlin 1960 (= Freiburger Forschungshefte. D 34).
- ERMISCH, Hubert (Hrsg.):
1886 Urkundenbuch der Stadt Freiberg, Bd. 2, Leipzig 1886.
1891 Urkundenbuch der Stadt Freiberg, Bd. 3, Leipzig 1891.
- GEUPEL, Volkmar:
1992 Die Ausgrabungen in der Wüstung „Schwedengraben“ bei Niederlauterstein, ein Haus des 13. Jahrhunderts, in: Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege 35, 1992, S. 163–176.
- GEUPEL, Volkmar/HOFFMANN, Yves:
1993 Burg Greifenstein bei Ehrenfriedersdorf, in: Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege 36, 1993, S. 205–256.
- GOLDENBERG, Gert:
1990 Die Schlacken und ihre Analysen – Relikte der Metallgewinnung und Metallverarbeitung, in: Erze, Schlacken und Metalle. Freiburger Universitätsblätter 109, 1990, S. 147–172.
1993 Frühe Blei-, Silber- und Kupfergewinnung im Südschwarzwald, Hüttenplätze und Bergschmieden, in: Steuer, Heiko/Zimmermann, Ulrich (Hrsg.): Montanarchäologie in Europa, Sigmaringen 1993 (= Archäologie und Geschichte. 4), S. 231–248.
- GRIMM, Paul:
1990 Tilleda. Eine Königspfalz am Kyffhäuser, Berlin 1990.
- GÜHNE, Arndt:
1985 Neue Ergebnisse zur Stadtkernforschung in der Bergstadt Freiberg – Borggasse, in: Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege 29, 1985, S. 313–343.
1992 Eine hochmittelalterliche Turmsubstruktion in der Burg von Freiberg,

- in: Ausgrabungen und Funde 37, 1992, S. 21-31.
- HARTISCH, W./RENTZSCH, J. (Bearb.):
o.J. Einschätzung der Rohstoffführung der Grundgebirgseinheiten im S-Teil der DDR, Mittelsachsen Granulitgebirge, Dresden o.J. (= Archiv des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, EB 2242).
- HAUPTMANN, Andreas/PERNICKA, Ernst/
WAGNER, Günter A.:
1988 Untersuchungen zur Prozeßtechnik und zum Alter der frühen Blei-Silber-Gewinnung auf Thasos, in: Günther A. Wagner/Gerd Weisgerber (Hrsg.): Antike Edel- und Buntmetallgewinnung auf Thasos, Bochum 1988 (= Der Anschnitt. Beih. 6), S. 88-112.
- HERRMANN, Walter:
1953 Der Zeitpunkt der Entdeckung der Freiburger Silbererze, in: Freiburger Forschungshefte. D 2, Berlin 1953, S. 7-22.
- KASSIANIDOU, Vasiliki:
1992 Monte Romero, a Silver Producing Workshop of the 7th Century BC in South-West Spain, in: IAMS 18, 1992, S. 7-10.
- KEESMANN, Ingo:
1985 Chemische und mineralogische Untersuchung von Eisenschlacken aus der hallstattzeitlichen Siedlung von Niedererlbach, in: Archäologisches Korrespondenzblatt 15, 1985, S. 351-357.
- 1990 Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur antiken Kupfer- und Silberverhüttung in Südwestspanien, in: Montanarchäologie in Europa. Berichte zum Internationalen Kolloquium „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“, Freiburg 1990, S. 105-122.
- KÖHLER, Johann:
1955 Die Keime des Kapitalismus im sächsischen Silberbergbau (1168 bis um 1500), Berlin 1955 (= Freiburger Forschungshefte. D 13).
- LANGE, Elisabeth:
1989 Aussagen botanischer Quellen zur mittelalterlichen Landnutzung im Gebiet der DDR, in: Herrmann, Bernd (Hrsg.): Umwelt in der Geschichte, Göttingen 1989, S. 26-39.
- LEVIN, Ernest M./McMURDIE, Howard F.:
1975 Phase diagrams for Ceramists, hrsg. v. The American Ceramic Society, Inc., Columbus, Ohio 1975, Supplement, Fig. 4150-4999.
- LEVIN, Ernest M./ROBBINS, Carl R./
McMURDIE, Howard F.:
1979 Phase diagrams for Ceramists, hrsg. v. The American Ceramic Society, Inc., Columbus, Ohio 1979, Fig. 1-2066.
- LINDNER, Harald/KÄPPLER, Rolf:
1993 Geophysikalische Untersuchungen zur Erkundung einer hochmittelalterlichen Bergbausiedlung am Treppenhauer in Sachsen, in: Steuer, Heiko/Zimmermann, Ulrich (Hrsg.): Montanarchäologie in Europa, Sigmaringen 1993 (= Archäologie und Geschichte. 4), S. 331-342.
- MAGIRIUS, Heinrich:
1972 Der Freiburger Dom. Forschungen und Denkmalpflege, Weimar 1972.
- MÜLLER, H.:
1901 Die Erzgänge des Freiburger Bergrevieres, Leipzig 1901.
- ORDENTLICH, Ivan/ROTHENBERG, Beno:
1980 Die Funde aus den freigelegten Bergbaurelikten, in: Conrad, Hans Günter/Rothenberg, Beno (Bearb.): Antikes Kupfer im Timna-Tal. 4000 Jahre Bergbau und Verhüttung in der Arabah (Israel), Bochum 1980 (= Der Anschnitt. Beih. 1), S. 169-180.
- OSTEN, Sigrid von:
1992 Das Alchemistenlaboratorium Oberstockstall. Diss. Wien 1992.
- POWLEY, G. S./FLORIDIS, P. T.:
1970 Effect of Barium Oxide on the Desulfurizing Capacity of Slags, in: Transactions AIME 1, 1970, S. 311-313.
- RICHTER, Uwe:
1992 Archäologische Untersuchungen im Bereich Untermarkt 12 in Freiberg, in: Ausgrabungen und Funde 37, 1992, S. 31-41.
- RICHTER, Miroslav/SMETANKA, Zdenek:
1987 Archäologische Untersuchungen zum städtischen Wohnhaus des Mittelalters in Böhmen, unter besonderer Berücksichtigung von Prag, in: Siedlungsforschung. Archäologie - Geschichte - Geographie 5, Leipzig 1987, S. 80-83.
- SCHIFFNER, Carl:
1912 Einführung in die Probierkunde, Halle (Saale) 1912.
- SCHÜTZ, W.:
1911 Das Verhalten von Bariumsulfat und Calciumsulfat gegen die wichtigeren Metallsulfide bei Gegenwart freier Kieselsäure, in: Metallurgie 1911, S. 228-246.
- SCHWABENICKY, Wolfgang:
1984 Zur Geschichte des Erzbergbaus im Zschopautal bei Frankenberg und Mittweida in Sachsen, in: Der Anschnitt 36, 1984, S. 2-13.
- 1987 Mittelalterliche Bergbaureste und Verhüttungsplatz in der Gemarkung Etdorf-Gersdorf, Kr. Hainichen, in: Ausgrabungen und Funde 32, 1987, S. 48-51.
- 1988 Die mittelalterliche Bergbausiedlung auf dem Treppenhauer bei Sachsenburg (Kr. Hainichen). Ein Vorbericht, in: Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege 32, 1988, S. 237-266.
- 1990 a Die mittelalterliche Bergbausiedlung Ullersberg bei Wolkenburg, Kr. Glauchau, in: Der Anschnitt 42, S. 86-91.
- 1990 b Zu Problemen der Umwelt im Mittelalter im Erzgebirgsvorland, dargestellt am Beispiel „Wald“, in: ders. (Hrsg.): Aus der Heimat, Heimatforschung im Kreis Hainichen, Mittweida 1990, S. 6-15.
- 1991 ... war einst eine reiche Bergstadt. Archäologische Forschungen zum hochmittelalterlichen Montanwesen im Erzgebirge und Erzgebirgsvorland, Mittweida 1991.
- 1992 a Der mittelalterliche Silber-, Blei- und Kupferbergbau im mittleren und westlichen Erzgebirge sowie im Erzgebirgsvorland unter besonderer Berücksichtigung der Grabungsergebnisse vom Treppenhauer bei Sachsenburg, in: Ethnographisch-Archäologische Zeitschrift 33, 1992, S. 541-552.
- 1992 b Der mittelalterliche Bergbau und wüste Bergstädte im Erzgebirge und Erzgebirgsvorland, in: Brachmann, Hansjürgen/Vogt, Heinz-Joachim (Hrsg.): Mensch und Umwelt. Studien zu Siedlungsausgriff und Landesausbau in Ur- und Frühgeschichte, Berlin 1992, S. 165-175.
- 1992 c Hochmittelalterliche Bergstädte im sächsischen Erzgebirge und Erzgebirgsvorland, in: Siedlungsforschung 10, 1992, S. 195-210.
- 1993 Archäologische Forschungen in mittelalterlichen Bergbausiedlungen des Erzgebirges, in: Steuer, Heiko/Zimmermann, Ulrich (Hrsg.): Montanarchäologie in Europa, Sigmaringen 1993 (= Archäologie und Geschichte. 4), S. 321-329.
- SIMON, Klaus:
1993 Zum ältesten Erzbergbau in Ostthüringen und Sachsen. Argumente und Hypothesen, in: Steuer, Heiko/Zimmermann, Ulrich (Hrsg.): Montanarchäologie in Europa, Sigmaringen 1993 (= Archäologie und Geschichte. 4), S. 89-104.
- TAFEL, Victor/WAGENMANN, Karl:
1951 Lehrbuch der Metallhüttenkunde, Bd. 1, 2. Aufl., Leipzig 1951.
- 1953 Lehrbuch der Metallhüttenkunde, Bd. 2, 2. Aufl., Leipzig 1953.
- UNGER, Manfred:
1963 Stadtgemeinde und Bergwesen Freibergs im Mittelalter, Weimar 1963.
- VOGT, Heinz-Joachim:
1972 Zu einigen Bodenfunden, in: Magirius, Heinrich: Der Freiburger Dom. Forschungen und Denkmalpflege, Weimar 1972.
- WAGENBRETH/Otfried/
WÄCHTLER/Eberhard:
1986 Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte, Leipzig 1986.

Anschriften der Verfasser:

*Dipl.-Min. Kerstin Eckstein
Landesamt für Archäologie
Japanisches Palais
D-01097 Dresden*

*Dr. Andreas Hauptmann
Deutsches Bergbau-Museum
Institut für Archäometallurgie
DMT-Gesellschaft für Lehre
und Bildung mbH
Am Bergbaumuseum 28
D-44791 Bochum*

*Dr. Thilo Rehren
Deutsches Bergbau-Museum
Institut für Archäometallurgie
DMT-Gesellschaft für Lehre
und Bildung mbH
Am Bergbaumuseum 28
D-44791 Bochum*

*Dipl.-Hist. Uwe Richter
Maxim-Gorki-Straße 110
D-09599 Freiberg*

*Dr. Wolfgang Schwabenicky
Landratsamt Mittweida
Untere Denkmalschutzbehörde
Am Landratsamt 3
D-09641 Mittweida*