

# Frühe Blei-, Silber- und Kupfergewinnung im Südschwarzwald

## Hüttenplätze und Bergschmieden

VON GERT GOLDENBERG

### 1. Einleitung

Im Zusammenhang mit der seit römischer Zeit belegten Blei-, Silber- und Kupfergewinnung haben im südlichen Schwarzwald an vielen Orten in beträchtlichem Umfang pyrometallurgische Aktivitäten unterschiedlicher Art und zu unterschiedlichen Zeiten stattgefunden. Im Rahmen eines von der Volkswagen-Stiftung von 1987 bis 1990 geförderten Forschungsprojektes »Zur Frühgeschichte des Erzbergbaus und der Verhüttung im südlichen Schwarzwald«<sup>1</sup> galt einer der Forschungsschwerpunkte der Lokalisierung von frühen Schlackenhalde und deren Erschließung für archäologische und metallurgische Untersuchungen. Fragen nach dem Erhaltungszustand archäometallurgischer Befunde, der Datierbarkeit sowie nach der Art der jeweils produzierten oder verarbeiteten Metalle standen hierbei im Vordergrund. Die Diskussion über die einstige mit der Metallgewinnung einhergehende Waldvernichtung und Umweltvergiftung sowie über die »historischen Altlasten« in Form rezenter schwermetallhaltiger Böden verleiht der archäometallurgischen Forschung in den traditionsreichen Bergbauregionen des Schwarzwaldes heute eine ganz besondere Aktualität.

### 2. Die Rohstoffe der Metallgewinnung im südlichen Schwarzwald

Für die Gewinnung von Blei, Silber und Kupfer standen den frühen Bergleuten im südlichen Schwarzwald in erster Linie polymetallische Erze aus den hydrothermalen Ganglagerstätten im kristallinen Grundgebirge zur Verfügung<sup>2</sup>. In wieweit Metallanreicherungen im Bereich von oberflächennahen Oxidations- bzw. Zementationszonen für den frühgeschichtlichen Bergbau eine Rolle spielten, kann heute aufgrund fehlender Aufschlüsse bzw. aufgrund des intensiven Abbaus kaum mehr nachvollzogen werden. Obwohl hin und wieder auch Erzfälle mit edlen Silbererzen (gediegen Silber, Silberglanz, Rotgültigerze) auftraten, können Bleiglanz mit Silbergehalten von bis zu 0,7 Gew.-Prozent aufgrund seiner Verbreitung sowie Fahlerze als hauptsächliche Silberlieferanten angesehen werden. Daneben fielen meist auch Kupfererze an (Kupferkies, Kupferfahlerze), denen in einigen Gruben in erster Linie der Abbau galt.

1 Durchgeführt vom Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Freiburg (Prof. Dr. H. Steuer, Dr. U. Zimmermann, G. Goldenberg), dem Geologischen Landesamt Baden-Württemberg (Dr. H. Maus) und dem Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie in Schwäbisch Gmünd (Prof. Dr. C. Raub, Dipl.-Ing. D. Ott); vgl. auch STEUER 1990a und b.

2 Zu den Erzlagerstätten des südlichen Schwarzwaldes vgl. METZ, RICHTER, SCHÜRENBERG 1957

### 3. Metallurgische Fundkomplexe, Fundmaterial

Schlackenhalde als letzte verbliebene Zeugen pyrometallurgischer Prozesse treten in den Bergbaurevieren des südlichen Schwarzwalds zahlreich sowohl entlang von Pingenzügen als auch an Bachläufen auf (Abb. 1). Zu ihrer Lokalisierung sind intensive Geländebegehungen und systematische Bachprospektionen erforderlich<sup>3</sup>. In den Sedimenten der Schwarzwaldtäler sowie in den Schwemmfächerbereichen vor dem Schwarzwaldrand bis hin zum Rhein finden sich noch heute deutliche Schwermetallanreicherungen, die auf die Umlagerung von Erzaufbereitungs- und Verhüttungsrückständen aus den früheren Bergbauzentren zurückzuführen sind<sup>4</sup>.

Schlackenplätze in Hanglage in unmittelbarer Nähe der Gruben sind aufgrund ihrer meist geschützten Lage noch relativ gut erhalten und bieten günstige Voraussetzungen für archäologische Untersuchungen. Bei der überwiegenden Mehrzahl dieser Fundplätze handelt es sich um die Überreste von Bergschmieden. Die meist an Bachläufen gelegenen Verhüttungsplätze mit ihren Schlackenhalde sind heute dagegen weitgehend abgetragen. Als ein wesentlicher Faktor der Abtragung kann die erhöhte Erosion im Zuge großflächiger Entwaldungen angenommen werden, die zur Deckung des Holzbedarfs der Hüttenwerke vorgenommen wurden<sup>5</sup>. Entsprechend schwierig bzw. teilweise nicht mehr möglich ist die Lokalisierung von mittelalterlichen oder älteren Verhüttungsplätzen. Als weitere Faktoren der Abtragung kommen eine Wiederaufarbeitung von Schlackenhalde (sekundäre Verwendung von Schlacken, z.B. als Zuschlag für spätere Hüttenwerke) sowie Eingriffe durch Straßen- und Wegebau, Bachbettregulierungen und Siedlungsbebauung in Betracht. Günstigere Voraussetzungen bestehen aufgrund der noch vorhandenen Schlackenmengen für die Auffindung jüngerer Hüttenplätze (seit dem 15. Jahrhundert und jüngere).

Zum metallurgischen Fundspektrum in den Schlackenhalde gehören gewöhnlich, neben den silikatischen Schlacken als hauptsächliche Abfallprodukte, Teile von Ofenlehm, Ofenmauersteinen oder Ofenziegeln, Holzkohle sowie Reste von Erzen und Gangartmineralen. Relativ selten sind dagegen Zwischen- oder Endprodukte der Verhüttung wie »Stein«- und »Speise«-Phasen<sup>6</sup>, Bleiglätte oder Rohmetalle sowie technische Utensilien aus Keramik oder Metall<sup>7</sup>.

### 4. Untersuchungsmethoden

Die im folgenden dargestellten Ergebnisse beruhen auf einer kombinierten Auswertung von mineralogisch-chemischen Untersuchungen an metallurgischen Rückständen, von archäologischen Sachverhalten und Zusammenhängen und von historischen Quellen (für die Zeit seit dem späten Mittelalter). In den Bergbaurevieren des südlichen Schwarzwaldes

3 Vgl. GOLDENBERG 1990a, 85 ff.

4 Unveröffentlichte Untersuchungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, Freiburg; vgl. dazu A. HOPPE u. a. in diesem Band 249 ff.

5 Nach geomorphodynamischen Untersuchungen von ZOLLINGER, MÄCKEL 1989, lassen sich z.B. im Bereich des Sulzbaches mehrere Phasen verstärkter Erosion und Akkumulation feststellen, die durch Bodenbildungsphasen in der Spätantike und im späten Mittelalter unterbrochen worden sind. Anthropogene Beeinflussungen des Gewässers durch Bergbau- und Verhüttungsaktivitäten können denkbare Ursachen hierfür sein.

6 Metallkonzentrate, die als Zwischen- oder Abfallprodukte bei der Verhüttung von Buntmetallerzen anfallen, Stein = Metallsulfid-Phasen, Speise = Metallantimonid- und -arsenid-Phasen.

7 Allgemeines über Schlacken und andere metallurgische Rückstände vgl. BACHMANN 1982.



- |                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| ★ Cu-Gewinnung 11./12. Jh.        | * Sb-Gewinnung 15. bzw. 18. Jh. (?) |
| ▲ Pb/Ag(Cu)-Gewinnung 13.-15. Jh. | ○ Bergschmieden 11.-19. Jh.         |
| ■ Pb/Ag(Cu)-Gewinnung 16. Jh.     | △ Fe-Gewinnung im Rennfeuer         |
| ● Pb/Ag(Cu)-Gewinnung 18./19. Jh. | □ Fe-Gewinnung 16.-19. Jh.          |

Abb. 1 Schlackenfundplätze im südlichen Schwarzwald; Ausschnitt entspricht TK 50 Freiburg i. Br.-Süd.

ist es auf diesem Wege gelungen, zwischen Blei/Silber/Kupfer gewinnender, Eisen verarbeitender und Eisen gewinnender Metallurgie zu unterscheiden. Innerhalb der Gruppe Blei/Silber/Kupfer-Gewinnung ist eine weitere Differenzierung nicht immer ohne weiteres möglich. Dies ist in erster Linie auf die polymetallischen Ausgangsstoffe zurückzuführen, die in der Regel eine für die Trennung der drei Metalle gemeinsame mechanische und thermische Aufbereitung sowie ein gemeinsames Rohschmelzen erfordern und somit auch gemeinsame Abfallprodukte liefern. Die Silbergewinnung ist aus technischen Gründen ohnehin untrennbar mit der Metallurgie des Bleis verbunden, und auch bei der Kupfergewinnung wurden – zumindest seit der frühen Neuzeit – Verfahren mit verbleiendem Schmelzen angewendet<sup>8</sup>. Hinweise auf die Art der gewonnenen Metalle ergeben sich durch die Untersuchung von Erz- und Metallrelikten, die im archäologischen Befund oder als Einschlußphasen in den Schlacken vorliegen. Funde von Bleiglätte deuten direkt auf eine Silbergewinnung hin.

Für die Untersuchungen standen Schlackenproben aus archäologischen Testgrabungen und von Oberflächenbegehungen zur Verfügung. Zur chemischen Charakterisierung der Schlacken wurden die am Aufbau von Silikaten bzw. silikatischen Gläsern beteiligten Hauptelemente Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K, P sowie die Elemente Ba, Pb, Zn und Cu mittels Atomabsorptionsspektralanalyse (AAS) und induktiv gekoppelter Plasmaspektralanalyse (ICP) analysiert<sup>9</sup>. Der Mineralbestand der Schlacken wurde anhand von polierten Dünnschliffpräparaten im Auflicht/Durchlicht-Polarisationsmikroskop, ergänzt durch Röntgenfeinstrukturanalysen am Probenpulver, bestimmt<sup>10</sup>.

## 5. Blei-, Silber- und Kupfer-Gewinnung

Fundkomplexe, die der Verhüttung von Blei-, Silber- und Kupfererzen zuzurechnen sind, lassen sich nach den bisherigen Ergebnissen von Oberflächenbegehungen, archäologischen Testgrabungen und mineralogisch-chemischen Untersuchungen in vier Gruppen unterschiedlicher Zeitstellung und Technologie einteilen.

### 5.1 Römische Blei/Silber-Gewinnung

Eine römische Verhüttung von Blei/Silber-Erzen wird seit längerem im Tal von Sulzburg vermutet<sup>11</sup>; die archäologischen Testgrabungen im Laufe des Projektes erbrachten hierfür weitere Hinweise – neben römischen Bergbauspuren – in Form von Schlackenkörnchen aus Mörtelproben eines römischen Gebäudes<sup>12</sup>. Nach einer qualitativen Analyse handelt es sich bei diesen Schlacken um Ca-Fe-Al-Silikate mit deutlichen Gehalten an Ba und Pb, wie sie bei der Verhüttung von Erzen der Sulzburger Lagerstätten zu erwarten wären. Eine Schlackenhalde im eigentlichen Sinne und damit der Standort einer römischen Verhüt-

8 Zu denken ist an die Silbergewinnung durch Kupellation oder Treibarbeit, bei der durch Aufblasen von Luft auf das silberhaltige Werkblei und Abziehen der entstehenden Bleiglätte das Silber gewonnen wird sowie an das verbleiende Schmelzen beim Seigerhüttenprozeß; vgl. AGRICOLA 1556, 9. bis 11. Buch; SUHLING 1976.

9 Durchgeführt am Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie in Schwäbisch Gmünd (Prof. Dr. C. Raub, Dipl.-Ing. D. Ott).

10 Durchgeführt am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Freiburg.

11 MARTIN-KILCHER, MAUS, WERTH 1979.

12 Vgl. ZIMMERMANN 1990b, 141.

tungsanlage konnte bislang noch nicht lokalisiert werden. Aufgrund des geringen zur Verfügung stehenden Probenmaterials sind eingehende Untersuchungen noch nicht erfolgt.

### 5.2 Frühphase der mittelalterlichen Verhüttung (11./12. Jahrhundert)

In der Frühphase des mittelalterlichen Bergbaus wurde stellenweise in unmittelbarer Nähe der Gruben in Hanglage – abseits von fließenden Gewässern – verhüttet. Dies belegen ein im Münstertal aufgefundener Kupferverhüttungsplatz des 11./12. Jahrhunderts<sup>13</sup> sowie ein vergleichbarer Befund auf einem Blei/Silber-Verhüttungsplatz derselben Zeitstellung in den benachbarten Vogesen<sup>14</sup>. Die Rohmetalle bzw. Metallkonzentrate wurden in beiden Fällen über Röstreaktionen und anschließendem fayalitischen Schmelzen in Lehmherden oder -öfen gewonnen<sup>15</sup>. Aus technologischer Sicht ergeben sich hierbei Ansätze zu Vergleichen mit dem bis zu dieser Zeit noch üblichen Rennfeuerverfahren bei der Eisengewinnung.

In Münstertal – Süßenbrunn wurde im 11./12. Jahrhundert Kupferkies abgebaut und in kleinem Maßstab auf einer Halde direkt neben der Grube verhüttet. Zur Schlackenbildung standen neben dem Fe-reichen Erz (Kupferkies  $\text{CuFeS}_2$  mit Pyrit  $\text{FeS}_2$ ) die am Aufbau des Erzganges beteiligten Minerale Quarz ( $\text{SiO}_2$ ), Siderit ( $\text{FeCO}_3$ ) und Limonit ( $\text{FeOOH}$ ) zur Verfügung. Mit Hilfe einer Magnetfeldmessung konnte die Einbrennzzone im Untergrund eines VerhüttungsOfens lokalisiert werden, von dem selbst jedoch nur einige wenige verschlackte Lehmfragmente erhalten geblieben sind.

Unter den metallurgischen Rückständen dominieren mengenmäßig mit etwa 60 Gew.-Prozent grünlich-dunkelgraue *Laufschlacken* mit Fließwülsten (Abb. 2a), die nach einem Schlackenabstich außerhalb eines Ofens erstarrt sind. Sie weisen eine glasige Grundmasse auf mit fiederförmig kristallisiertem Fayalit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) und winzigen, von Kupfersulfiden (Chalkosin,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ) umgebenen Kupfertröpfchen. Einen Mengenanteil von etwa 40 Gew.-Prozent nehmen *heterogene Schlackenklumpen* ein, die durch grüne Ausblühungen von Kupfersekundärmineralen – vorwiegend Brochantit ( $\text{Cu}_4[(\text{OH})_6/\text{SO}_4]$ ) – auffallen. Diese vermutlich in einem Ofen erstarrten Schlacken enthalten größere Einschlüsse der Kupfersulfidphasen Chalkopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ), Bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), Covellin ( $\text{CuS}$ ) und Chalkosin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) sowie Kupfer ( $\text{Cu}$ ), Cuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), Quarz ( $\text{SiO}_2$ ) und Holzkohlereste. Quarz ist häufig in Cristobalit (Hochtemperaturmodifikation von Quarz) umgewandelt. In einer glasigen Grundmasse tritt langprismatischer Fayalit und idiomorpher Spinell (Magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) auf (Abb. 2b). Fragmente von *Ofenwandungslehm* wurden nur vereinzelt aufgefunden (ca. 1 Gew.-Prozent der gesamten Schlackenfundmenge); diese sind von plattiger Form und einseitig verschlackt. Wahrscheinlich aus dem Bodenbereich eines Ofens stammen Teile einer Lehmauskleidung, in die metallisches Kupfer eingesickert ist. Als Einzelfunde sind ein Stück massiver *Kupferstein* (60 g, Cu-Gehalt > 70 Gew.-Prozent) sowie ein *Rohkupfertropfen* (13 g) zu nennen.

Die chemischen Analysen zeigen in den Laufschlacken Cu-Gehalte zwischen 1 und 2 Gew.-Prozent (Tab. 1, S. 244), dagegen bis zu 10 Gew.-Prozent in den heterogenen Schlackenklumpen. Hohe FeO-Gehalte in den Laufschlacken spiegeln die fayalitische Zusammensetzung der Schlacken wider. In den Schlacken treten vom Ausgangserz Kupferkies bis hin zum metallischen Kupfer Zwischenprodukte auf, wie sie bei der Verhüttung

13 Vgl. ZIMMERMANN 1990b, 130ff.

14 Ein Blei/Silber-Verhüttungsplatz mit fayalitischen Laufschlacken auf dem Haut-Altenberg bei Sainte-Marie-aux-Mines datiert über Keramikfunde in das 11./12. Jahrhundert; FLUCK 1991.

15 Vgl. GOLDENBERG 1990b, 151ff.

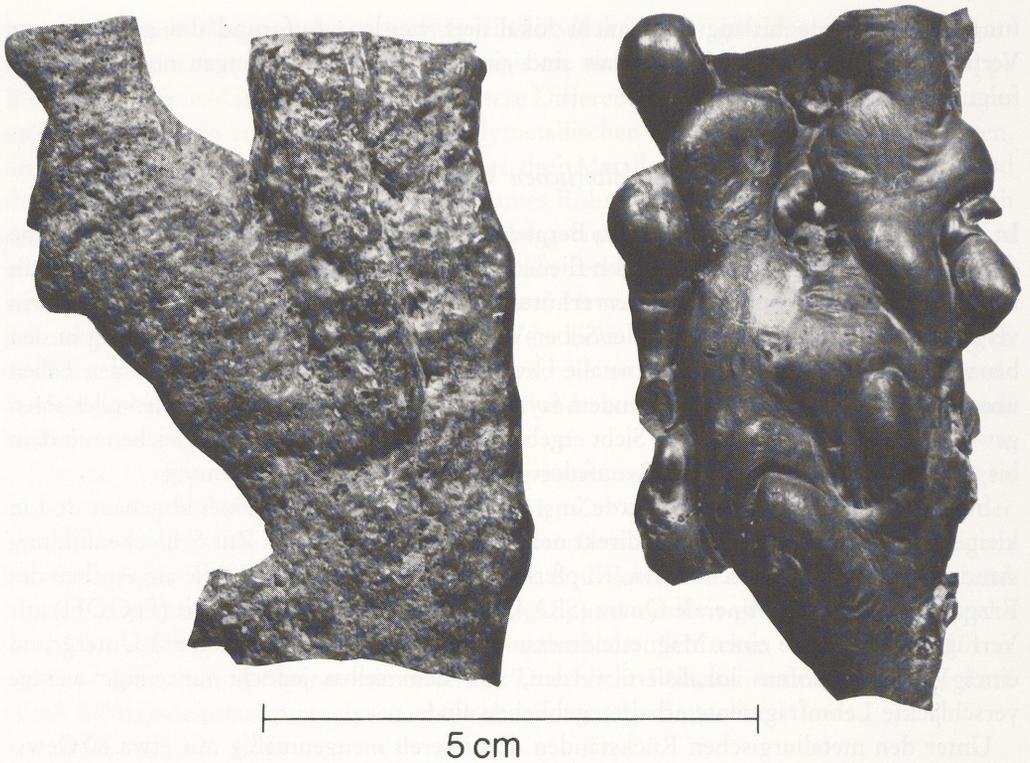


Abb. 2a Fayalitische Laufsclacken (Süs A 452) aus einer hochmittelalterlichen Kupferkiesverhüttung, Münstertal-Süßenbrunn, 11./12. Jahrhundert.

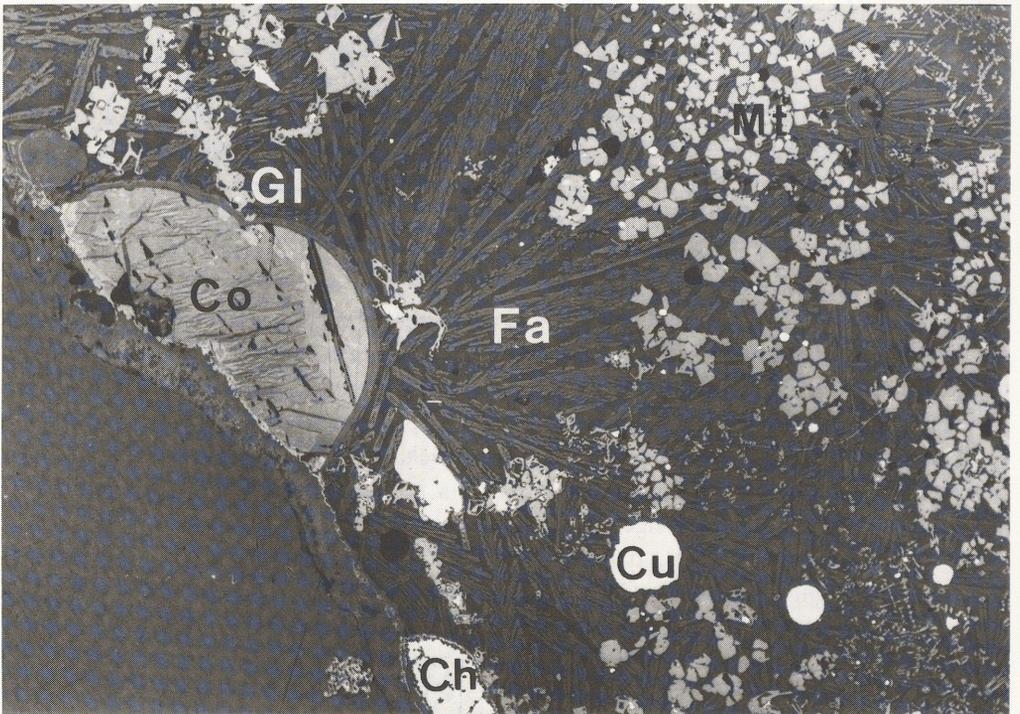


Abb. 2b Heterogene Kupferschlacke (8901-77), Münstertal-Süßenbrunn, 11./12. Jahrhundert; pol. Dünnschliff (Auflicht), Fa = Fayalit, Gl = Glas, Co = Covellin, Ch = Chalkosin, Mt = Magnetit, Cu = Kupfer (Bildbreite: 1,4 mm).

über Röstreaktionen und fayalitisches Konzentrationsschmelzen erwartet werden können. Bei einer geschätzten Schlackenmenge auf der Halde von etwa 1 Tonne kann für die produzierte Kupfermenge eine Größenordnung von 100 kg angenommen werden<sup>16</sup>.

### 5.3 Spätes Mittelalter / frühe Neuzeit (13.–16. Jahrhundert)

Vermutlich im Laufe des 12./13. Jahrhunderts fand eine tiefgreifende Innovation im Hüttenwesen statt, die sich wahrscheinlich parallel zum Technologiewandel bei der Eisenerzeugung (vom Rennfeuerofen zu den mit Wasserkraft betriebenen Blas- und Stucköfen, den Vorläufern der Hochöfen) vollzog<sup>17</sup>. Erste urkundliche Überlieferungen, die indirekt auf derartige Neuerungen im Metallhüttenwesen des Schwarzwaldes hinweisen, stammen aus dem ausgehenden 11. Jahrhundert<sup>18</sup>; archäologisch wird dieser Wandel im südlichen Schwarzwald erstmals im 13./14. Jahrhundert greifbar. Hüttenwerke wurden seit dieser Zeit an Bachläufen errichtet, um die Nutzung von Wasserkraft zum Betreiben von Blasebälgen und Pochwerken zu ermöglichen<sup>19</sup>.

Für diesen Zeitabschnitt sind Verhüttungsverfahren charakteristisch, die beim Rohschmelzen vor allem große Mengen an blauen bis grünlichgrauen *Schlackengläsern* erzeugten (Abb. 3a). Diese weisen Einschlüsse von Quarz/Cristobalit, tropfenförmigen Sulfidphasen, Erzrelikten und Holzkohle auf. Blei- und Zinkgehalte dieser Schlacken liegen im Prozent-Bereich (Tab. 1, S. 244). Beim Bau der – verglichen mit der Frühgeschichte – größeren und leistungsfähigeren Ofenanlagen fanden nach den bisherigen Geländebeobachtungen zunächst vor allem Natursteine (lokale Gneisbrocken, Sandstein) in Verbindung mit Lehm Verwendung, später auch gebrannte Ziegel. Die aufgefundenen *Ofenmauersteine* zeigen charakteristische, durch Hitzeeinwirkung verursachte Dunkelrotverfärbung, Bleichungen, Sprengrisse und Vergrusungserscheinungen sowie teilweise Verschlackung mit häufig zu beobachtenden gelblichweißen Belägen und Krusten. Als weitere metallurgische Rückstände treten selten *Bleiglätte* (PbO) in meist kleinen kantigen Bröckchen, Blei, »Stein«- und »Speise«-Phasen<sup>20</sup> (Abb. 3b) sowie Bruchstücke von *Tiegeln* (Probiertiegel) und *Eisenteile* als Überreste metallurgischer Gerätschaften auf.

Die Entdeckung reicher Silbervorkommen in der Neuen Welt sowie die Auswirkungen des dreißigjährigen Krieges mögen – wie auch in anderen Teilen Mitteleuropas – zum Niedergang des Berg- und Hüttenwesens im 17. Jahrhundert im Schwarzwald beigetragen haben. Dies erklärt die bestehende Fundlücke im Gelände sowie die kaum vorhandenen schriftlichen Zeugnisse aus dieser Zeit.

### 5.4 Späte Neuzeit (18./19. Jahrhundert)

Nach der Niedergangsperiode treten Fundplätze von Hüttenwerken wieder mit Beginn des 18. Jahrhunderts in Erscheinung. Die Abfallprodukte der Hüttenwerke des 18. und 19. Jahrhunderts weisen auf wiederum neuartige Verfahren hin, die beim Rohschmelzen vor allem dichte schwarzgraue, *plattige Schlacken* oder auch schwarze, *obsidianartige*

16 Zur mittelalterlichen Kupferverhüttung vgl. HAUPTMANN 1985, 95 ff.

17 Zur Entwicklung der Eisenverhüttung vgl. GILLES 1952.

18 Im Jahre 1099 n. Chr. wird im Zusammenhang mit dem Bergbau im Suggental nördlich von Freiburg ein »Schmelzwerk an der Elz« erwähnt, METZ 1961, 287.

19 Eine Zusammenstellung von vorderösterreichischen Schmelzhütten aus dem 16. Jahrhundert im Raum Todtnau und Oberried gibt SCHLAGETER 1982, 169 ff.

20 Vgl. Anm. 6.

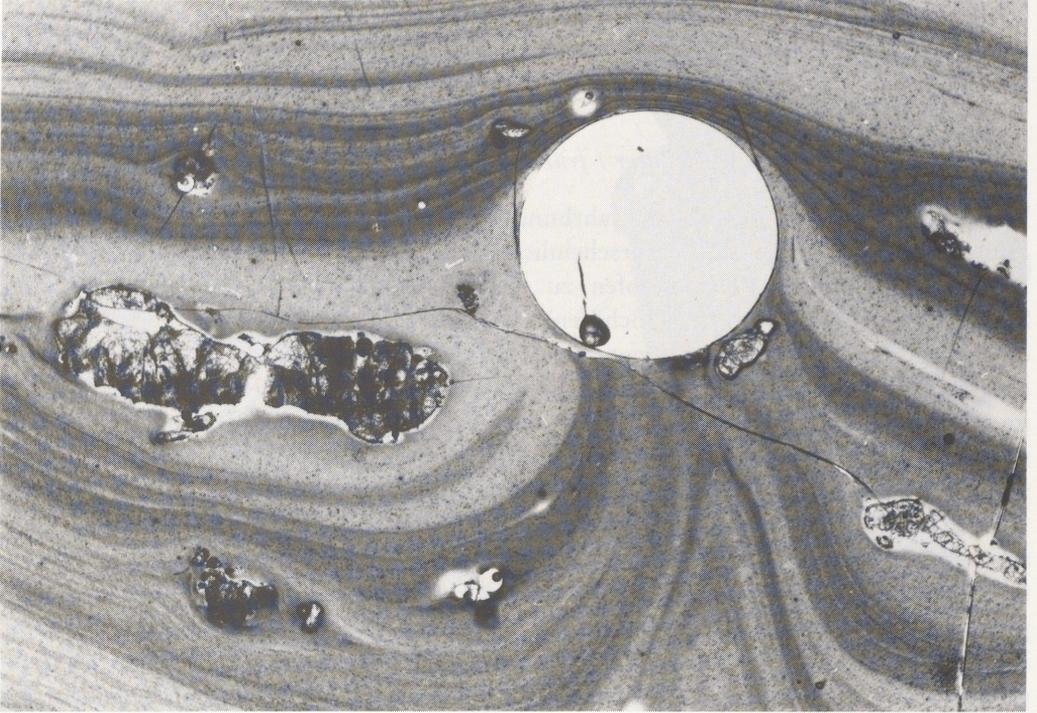


Abb. 3a Schlieriges Schlackenglas (8901–20) der Blei/Silber(Cu)-Gewinnung, Muggenbrunn, 16. Jahrhundert; Dünnschliff (Durchlicht); mit Quarzeinschlüssen und Blasen (Bildbreite: 5,6 mm).

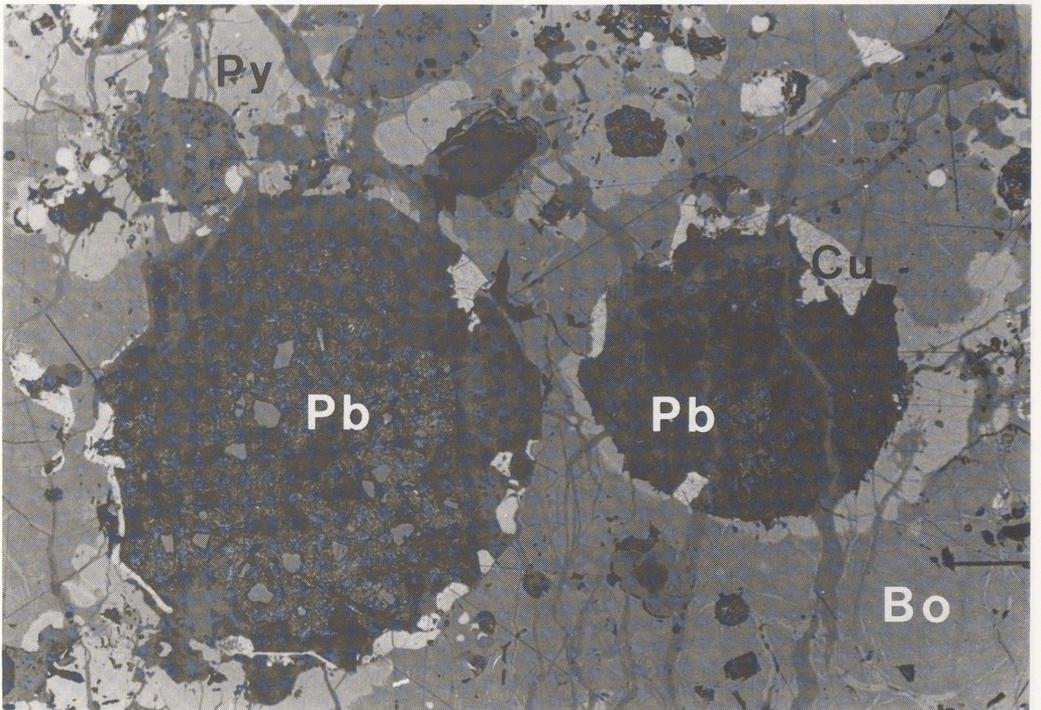


Abb. 3b »Stein« (»Matte«)-Phasen (G22/6b) mit Bleieinschlüssen von einem Blei/Silber-Verhüttungsplatz in Münstertal-Willnau, 13./14. Jahrhundert; pol. Dünnschliff (Auflicht), Pb = Blei, Bo = Bornit, Py = Pyrrhotin, Cu = Kupfer (Bildbreite: 0,7 mm).

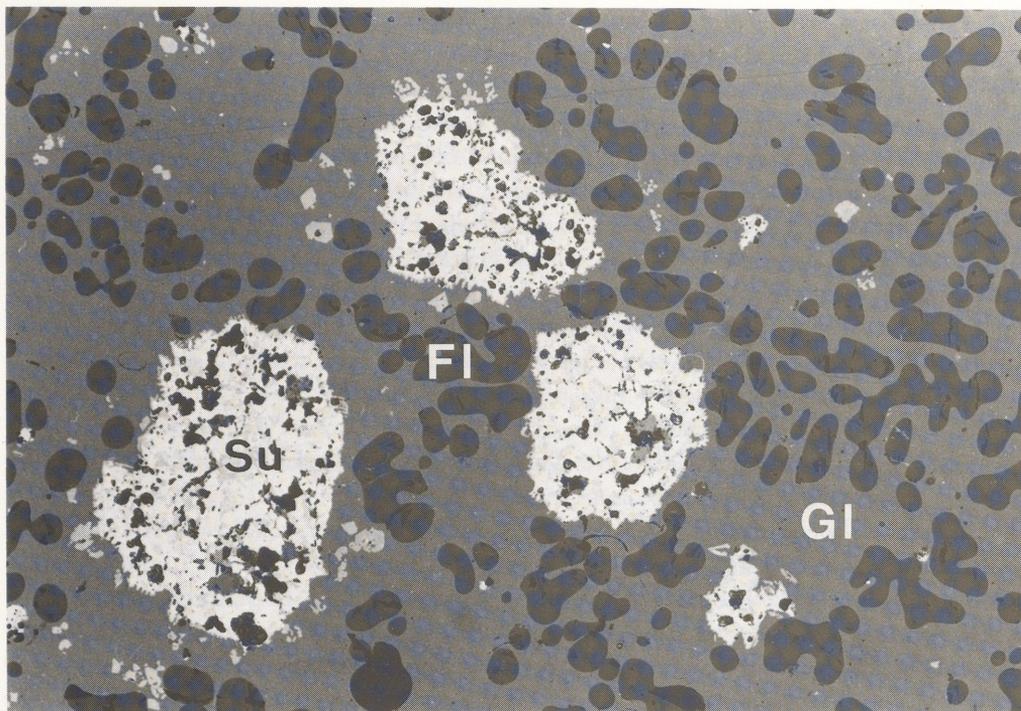


Abb. 4a Fluorithaltige Schlacke (8901–33), Blei/Silber(Cu)-Hütte, Münstertal-Hof, 18./19. Jahrhundert; pol. Dünnschliff (Auflicht), Gl = Glas, Fl = Fluorit, Su = Sulfidphasen (Bildbreite: 1,4 mm).

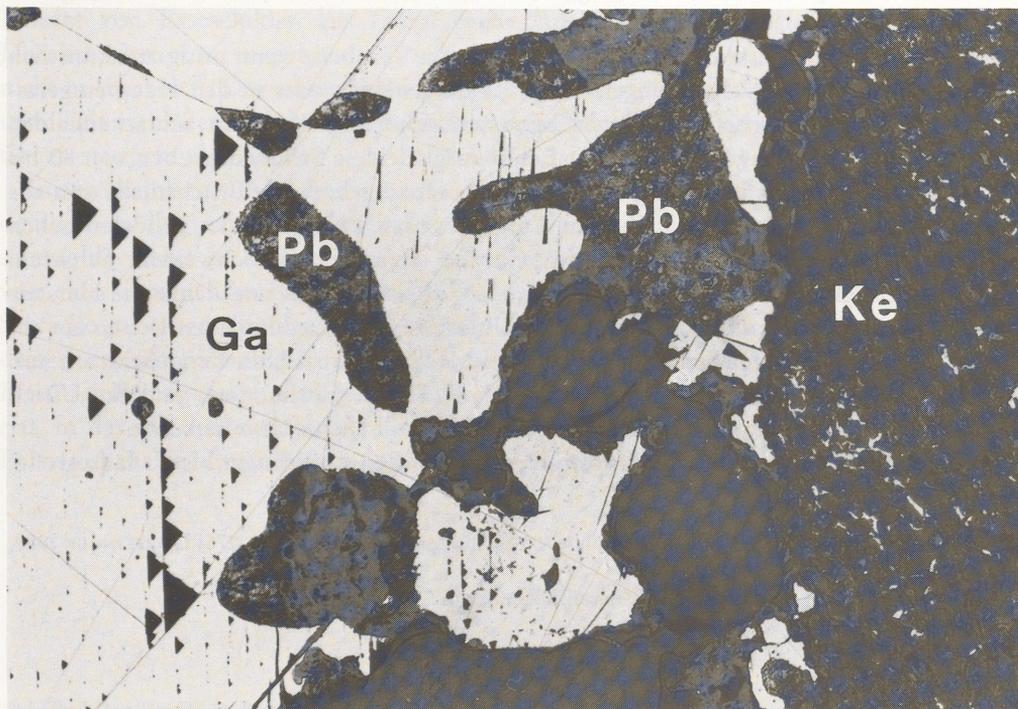


Abb. 4b Galenit auf Ofenkeramik (G4/3), Blei/Silber-Hütte Sexau, 18./19. Jahrhundert; polierter Dünnschliff (Auflicht), Ga = Galenit, Pb = Blei, Ke = Ofenkeramik (Bildbreite: 2,8 mm).

Gläser hinterlassen haben. Am Aufbau der bislang untersuchten Schlacken aus dieser Epoche sind in hohem Maße Barium und/oder Calcium beteiligt (Tab. 1, S. 244). Während Fluorit ( $\text{CaF}_2$ ) bewußt als Flußmittel eingesetzt wurde (Abb. 4a), bleibt beim Baryt ( $\text{Ba}_2\text{SO}_4$ ) die Frage noch offen, ob auch dieser Flußmittelfunktion ausübte oder aber nur aufgrund seines hohen spezifischen Gewichtes bei der Aufbereitung nicht vom Erz getrennt werden konnte. Die für die vorangegangene Epoche charakteristischen blauen bis grünlichgrauen Gläser fehlen hier – bis auf vereinzelte Funde – völlig. Als *Ofenmauersteine* treten meist Formziegel (Abb. 4b) sowie auch Natursteine (Gneisbrocken) auf, die häufig Verschlackung zeigen. Von den Hüttenwerken dieser Zeit sind noch mehr oder weniger umfangreiche Archivunterlagen vorhanden<sup>21</sup>. Auch das Spektrum metallurgischer Rückstände im Gelände ist aufgrund des jungen Alters noch relativ reichhaltig.

## 6. Eisenverarbeitende Metallurgie – Bergschmieden

Die zahlreichen, meist kleineren Schlackenhalde in unmittelbarer Nähe der Abbauspuren – mit Schlackenmengen im Bereich von einigen Kilogramm bis wenigen Tonnen – lassen sich, von Ausnahmen<sup>22</sup> abgesehen, einer eisenverarbeitenden Metallurgie zuordnen<sup>23</sup>. Bergschmieden, archäologisch nachgewiesen seit dem 11./12. Jahrhundert<sup>24</sup>, waren demnach in den Bergbaurevieren weit verbreitet und nehmen eine bedeutende Position bei der archäologischen Erforschung des Themenbereiches Abbau und Erzgewinnung ein. Durch hier mögliche Keramik- und Holzkohlefunde liefert dieser Fundkomplex wichtige Grundlagen für die Datierung einzelner Bergbauphasen. In der unmittelbaren Umgebung dieser Werkstattbereiche können zudem in der Regel auch weitere Aktivitäten der Bergleute, z. B. im Zusammenhang mit Erzaufbereitung oder Wohn- und Aufenthaltsstätten der Bergleute und ihrer Familien, nachgewiesen werden<sup>25</sup>.

Die Schmiedewerkstätten wurden direkt neben den Gruben, wenn nötig auf künstlich angelegten Verebnungsflächen, eingerichtet (auf Bergehalden oder in den Hang eingelassen); zu den archäologisch faßbaren Überresten gehören neben den Schlackenhalde flache, in den Boden eingetiefte und mit Lehm ausgekleidete Schmiedegruben von 80 bis 100 cm Durchmesser, teilweise ergänzt durch Steinsetzungen, sowie Bruchstücke von aus Lehm aufgebauten Esseschilden. Zu den Aufgaben eines Bergschmiedes gehörten neben der Instandhaltung von bergmännischem Gezähe (Reparaturen, Schweißen, Schärfe, Härten) offensichtlich auch die Bearbeitung von Roheisenluppen und damit die Herstellung von Werkzeugen<sup>26</sup>. Die metallurgischen Überreste der Bergschmieden weisen ein auf allen Fundplätzen immer wieder zu beobachtendes charakteristisches Fundspektrum auf. Fundmaterial der Ausgrabungen Sulzburg (Szb A, 11./12. Jahrhundert) und St. Ulrich (St. U A, 13./14. Jahrhundert)<sup>27</sup> wurde mineralogisch und chemisch untersucht.

Unter den metallurgischen Abfallprodukten überwiegen unförmige, bis zu faustgroße,

21 Zu Hüttenwerken aus dem 18./19. Jahrhundert. vgl. SCHLAGETER 1989, 250 u. 276; DÖRFLINGER 1989, 220ff.; METZ 1959.

22 Vgl. oben: Kupfergewinnung in Münstertal-Süßenbrunn.

23 Vgl. GOLDENBERG 1990b, 163ff.

24 Vgl. ZIMMERMANN 1990b, 125ff.

25 Vgl. Anm. 24.

26 Zu den Schmiederohstoffen und zu den Schmiedetechniken vgl. PLEINER 1962, 252ff.; über Schmiedeschlacken vgl. KEESMANN 1985; KEESMANN, HELLERMANN 1989; SPERL 1980; WESTPHALEN 1989.

27 Vgl. ZIMMERMANN 1990b, 125ff. u. 134ff.

sehr heterogene Schlacken in dunkelgrauen und braunen Farbtönen, die aus blasenreicher silikatischer Schlacke, eisenoxid- und limonitreichen Massen, Quarzkörnern, angeschmolzenen Gesteinsbruchstücken, teilweise aufgeschmolzenem Lehm sowie aus Holzkohle- und Holzresten aufgebaut sind. Charakteristisch treten 10 bis 15 cm im Durchmesser betragende, meist konkav-konvex gewölbte Schlackenkalotten auf, die als am Herdboden vor der Düse gebildete Rückstände von einem oder mehreren Schmiedevorgängen angesehen werden können. Kalotten, die fast vollständig aus Fayalit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), Wüstit ( $\text{FeO}$ ) und Glas aufgebaut sind, weisen aufgrund von gelegentlichen Eiseneinschlüssen, die selbst noch Schlackereste enthalten, auf das Ausschmieden von Roheisenluppen hin (Abb. 5a); sie lassen sich chemisch und mineralogisch kaum von Reduktionsschlacken aus dem Rennfeuerprozeß bei der Eisengewinnung unterscheiden. Eisenoxid- und limonitreiche Kalotten mit limonitisierten Eisenteilchen, Quarzkörnern und Feuerungsresten können dagegen einer fortgeschrittenen Weiterverarbeitung zugeordnet werden. Sowohl in den die Schmiedeessen umgebenden Schlacken gruben als auch in den Schmiederückständen selbst läßt sich *Hammerschlag* (Abb. 5b) in Form von magnetischen Eisenoxidplättchen (Wüstit, Magnetit [ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ]) und sphärischen Schlackepartikeln (Glas, Fayalit, Eisenoxide) nachweisen<sup>28</sup>.

Auffallend ist ein hoher Anteil an bis zu walnußgroßen, teilweise angeschmolzenen Gesteinsbruchstücken aus lokalem Gneis am Aufbau der heterogenen Schlackenklumpen. Offensichtlich hatte dieses Material aus der unmittelbaren Umgebung der Schmiedewerkstätten einen bestimmten Zweck bei der Prozeßführung zu erfüllen; zu denken ist z. B. an ein Zusammenhalten der Charge oder an eine Abdeckung zur Isolation<sup>29</sup>.

Plattige Bruchstücke von rotgebranntem, einseitig verschlacktem Lehm können als Reste der düsennahen Herdgrubenauskleidung angesprochen werden. Bei den Ausgrabungen fanden sich in solchen Herdwandungsfragmenten gelegentlich Düsenabdrücke, die auf den Einsatz von Esseschilden aus Lehm sowie auf Metallrohrdüsen zur Luftzufuhr mit Durchmessern von zwei bis drei Zentimetern hinweisen; Reste von Tondüsen wurden nicht beobachtet<sup>30</sup>. Der relativ hohe Anteil dieser Lehmfragmente am gesamten Fundspektrum läßt vermuten, daß häufige Ausbesserungen oder Erneuerungen der Lehmkonstruktionen stattgefunden haben.

In den chemischen Analysen wird die ausgesprochene Heterogenität des Fundspektrums deutlich; bedingt durch unterschiedliche Verarbeitungsstadien sowie durch die Vermischung der verschiedenen am Prozeß beteiligten Komponenten kommen alle Übergänge von einer reinen Eisensilikat/Eisenoxid-Schlacke mit hohen FeO-Gehalten bis hin zur Schlacke aus aufgeschmolzenen Gesteinsbruchstücken oder aufgeschmolzenem Herdwandungslehm mit hohen  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalten vor. Vereinzelt weisen manche Proben Bleianreicherungen auf, die auf eine Kontamination durch Erzreste aus dem Haldenmaterial, in das die Schmiedegruben in der Regel eingetieft sind, oder auf den Einsatz von Pochsand aus der Erzaufbereitung beim Schmiedevorgang zurückgeführt werden können.

28 Über Rückstände beim Schmieden und über Hammerschlag vgl. McDONNELL 1984.

29 Vgl. BIRINGUCCIO 1540, 76 ff.

30 Zu den archäologischen Befunden auf Schmiedepätzen vgl. ZIMMERMANN 1990b, 125 ff.

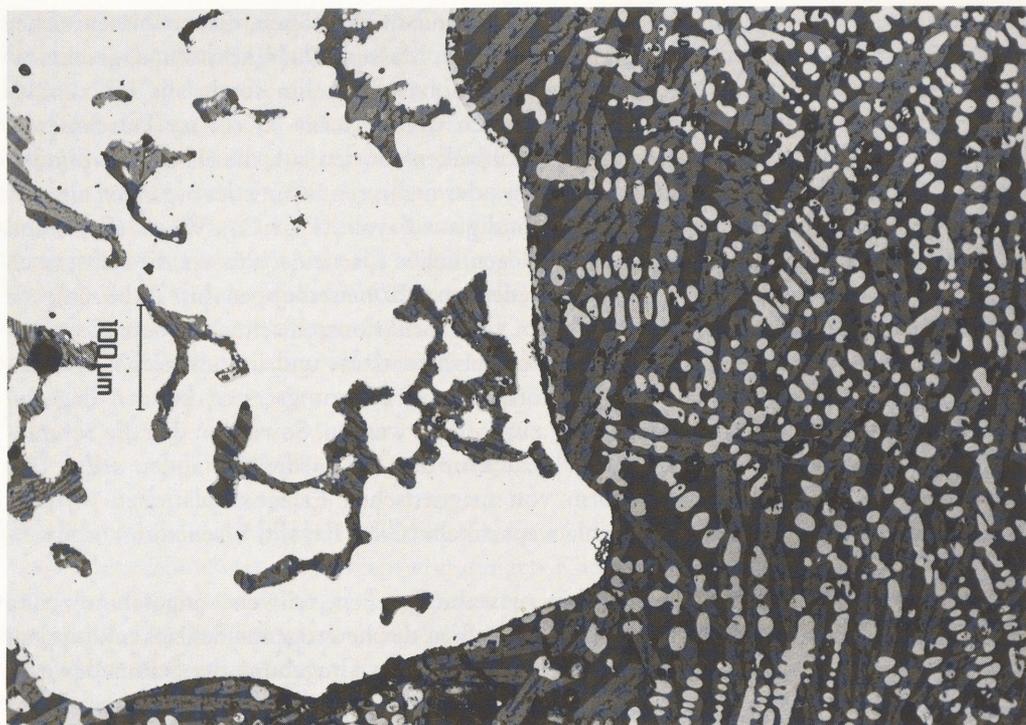


Abb. 5a Schlackenkalotte (Szb A 805) aus Schmiedebefund, Sulzburg, 11./12. Jahrhundert; pol. Dünnschliff (Auflicht); glasige Grundmasse (dunkelgrau), leistenförmige Fayalitkristalle (grau), Eisenoxidropfen (hellgrau) und Luppenrest (weiß).

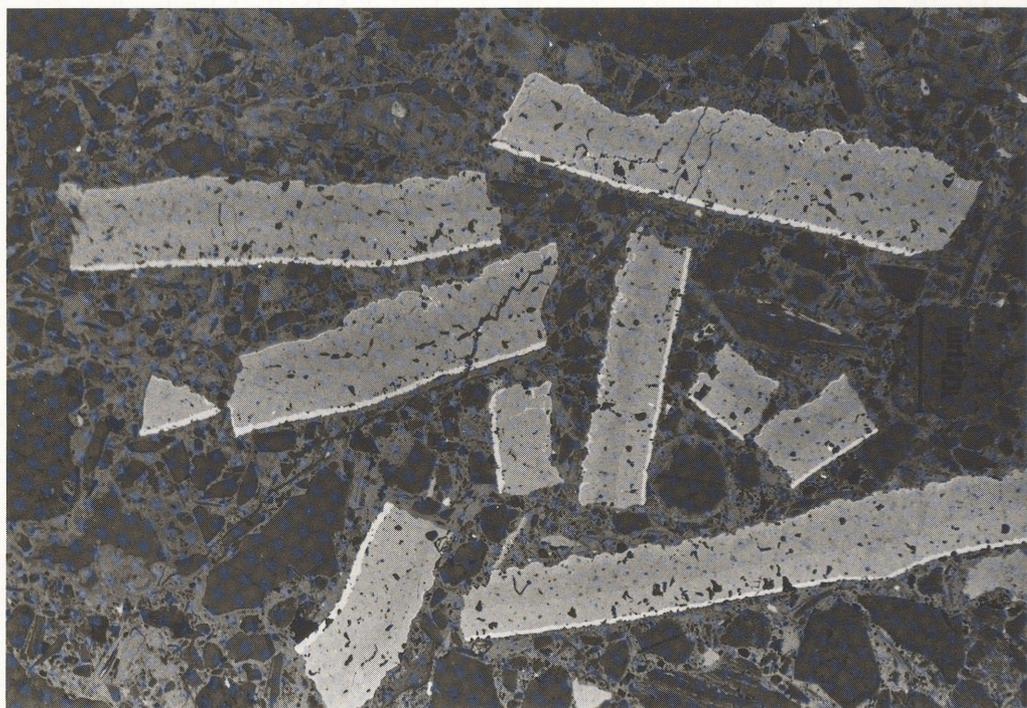


Abb. 5b Schlackenkalotte (Szb A 856) aus Schmiedebefund, Sulzburg, 11./12. Jahrhundert; pol. Dünnschliff (Auflicht); Eisenoxidplättchen »Hammerschlag« im Querschnitt (hellgrau) und scharfkantige Quarzkörner (dunkelgrau) in limonitreicher Grundmasse.

## 7. Eisengewinnung

Die Einbeziehung von Relikten der Eisengewinnung in die Untersuchungen diene vor allem dem Zweck, eine eindeutige Abgrenzung von Blei/Silber/Kupfer-Metallurgie einerseits und Eisen-Metallurgie andererseits anhand der auftretenden Schlackenfunde zu ermöglichen. Am Schwarzwaldrand standen hierfür Schlackenhalde von Rennfeuerplätzen bzw. von neuzeitlichen Eisenhüttenwerken zur Verfügung<sup>31</sup>. Diese Rückstände lassen sich in den untersuchten Fällen über die mineralogisch-chemischen Analysen zweifelsfrei von den Buntmetallschlacken unterscheiden; die Eisenschlacken weisen keine vergleichbaren Schwermetallanreicherungen auf (Tab. 1); in den Dünnschliffen konnten keine Phasen mit Buntmetallbeteiligung beobachtet werden. Vom Fundkomplex der Bergschmieden lassen sich die Rennfeuerplätze weniger durch mineralogisch-chemische Untersuchungen als vielmehr über archäologische Befundzusammenhänge und vor allem über das Fundspektrum an metallurgischen Rückständen unterscheiden. So treten die für Rennfeuer charakteristischen fayalitischen Laufschlacken auf Schmiedepätzen nicht auf.

## 8. Chemischer Vergleich der untersuchten Schlacken

Für einen chemischen Vergleich von metallurgischen Rückständen aus der Blei/Silbergewinnung, der Kupfergewinnung und der Eisengewinnung wurden Schlackenfunde herangezogen, die nach einem Schlackenabstich außerhalb von Öfen oder in Vorherden erstarrt sind. Analysiert wurden Proben aus der mengenmäßig jeweils deutlich vorherrschenden Fundgruppe (Tab. 1); es handelt sich hierbei um relativ homogene Silikatschlacken, die als Gläser oder in kristallisiertem Zustand vorliegen.

Abb. 6 zeigt die Verteilung von Pb, Zn und Cu in den untersuchten Schlacken. Die Einteilung in vier Gruppen: I. Kupfergewinnung 11./12. Jahrhundert, II. Blei/Silber (/Kupfer)-Gewinnung 13. bis 19. Jahrhundert, III. Eisengewinnung im Rennfeuer und im Hochofen, IV. Eisenverarbeitung in Bergschmieden erfolgte nach den archäologischen und mineralogischen Befunden sowie nach Auswertung schriftlicher Überlieferungen.

Die Interpretation der Schlacken von Münstertal-Süßenbrunn als Rückstände einer Kupfergewinnung findet in der chemischen Analyse durch den hohen Cu-Gehalt (> 1 Gew.-Prozent) gegenüber dem völlig zurücktretenden Pb seine Bestätigung. Ausschlaggebend für diese Zusammensetzung sind in erster Linie die Ausgangserze, bei denen es sich nahezu ausschließlich um Kupferkies/Pyrit gehandelt haben dürfte. Die Schlacken der Blei/Silber(Kupfer)-Verhüttung von Schlackenhalde des 13. bis 19. Jahrhunderts weisen dagegen regelmäßig Pb-Gehalte im Prozent-Bereich und schwankende, meist jedoch deutliche Zn-Gehalte von bis zu mehreren Gew.-Prozent auf. Eine Zuordnung zu bestimmten Lagerstätten bzw. einzelnen Erzgängen ist nicht immer ohne weiteres möglich, besonders dann nicht, wenn damit gerechnet werden kann, daß Erzkonzentrate aus verschiedenen Gruben gemeinsam verhüttet wurden.

Bei den Eisengewinnungsschlacken aus Rennfeuern und Hochofen sind keine vergleichbaren Konzentrationen an Pb, Cu und Zn festzustellen; dies ist vor allem auf die Rohstoffe für die Eisenerzeugung zurückzuführen, die zum überwiegenden Teil aus den sedimentären Bohnerz- und Doggererzvorkommen der Vorbergzone gewonnen wurden und sich somit von ihrer Paragenese her deutlich von den Erzen der hydrothermalen Gangerzlager-

31 Über die Eisengewinnung in Südbaden vgl. GASSMANN 1991.

*Tabelle 1* Chemische Pauschalanalysen von Schlacken unterschiedlicher Fundplätze im südlichen Schwarzwald

Probe Zeitstellung	Blei/Silber/Kupfer-Gewinnung								
	Süs 89-74 11./12. Jh.	Wln 88-45 13./14. Jh.	StU 89-26 13./14. Jh.	Gsw 89-5 15. Jh.	Obr 89-10 16. Jh.	Hör 89-12 16. Jh.	Mgb 89-20 16. Jh.	Sex 89-37 18./19. Jh.	Hof 89-33 18./19. Jh.
SiO <sub>2</sub>	46.00	48.10	38.50	47.10	43.40	52.40	46.90	23.70	26.10
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.20	0.17	0.28	0.33	0.33	0.35	0.25	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.60	5.90	3.80	7.20	5.90	9.10	8.70	4.50	2.30
FeO <sub>t</sub>	42.60	5.80	3.00	10.70	28.30	15.40	13.60	11.60	19.30
MnO	0.66	0.13	—	0.08	1.03	0.26	0.19	0.49	0.19
CaO	2.10	14.60	23.10	17.20	7.80	7.00	6.90	7.70	29.40
MgO	0.46	0.81	0.63	0.99	2.16	1.66	1.58	1.18	0.46
Na <sub>2</sub> O	0.40	0.70	—	2.20	1.10	1.10	1.00	0.70	0.60
K <sub>2</sub> O	1.45	1.69	1.08	2.53	1.81	3.49	3.13	2.53	0.60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	nb	—	nb	nb	1.20	1.20	1.40	0.70
BaO	1.45	13.51	16.30	13.96	1.12	0.33	2.90	32.93	14.51
PbO	—	1.20	0.40	1.30	4.30	1.40	0.70	1.50	2.80
ZnO	—	1.31	0.12	1.87	0.62	7.34	7.72	0.16	1.24
Cu	1.10	—	0.10	0.04	0.20	0.30	—	0.05	—
Summe Gew.-%	99.94	93.95	87.20	105.45	98.07	101.31	94.87	88.69	98.37

Probe Zeitstellung	Eisen-Gewinnung (Rennfeuer)			Eisen-Gewinnung (Hochofen)			Eisen-Verarbeitung (Bergschmiede)	
	Sls 89-60 ?	Her 89-63 ?	Snb 89-65 ?	Ezb 89-45 17./18. Jh.	Kln 89-55 18. Jh.	Obw 89-50 16.-19. Jh.	SzbA 970 11./12. Jh.	StU A 919 13./14. Jh.
SiO <sub>2</sub>	32.30	36.60	33.20	50.50	65.00	50.50	27.40	24.20
TiO <sub>2</sub>	0.53	0.40	0.13	1.35	0.60	1.22	0.30	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.20	4.70	4.30	11.70	8.30	14.00	7.00	4.50
FeO <sub>t</sub>	58.90	67.20	65.00	3.90	3.10	2.40	47.30	62.90
MnO	0.62	0.28	2.45	0.19	1.55	0.08	0.17	0.12
CaO	2.20	1.30	1.10	19.00	27.10	29.10	9.70	1.50
MgO	0.43	0.18	0.35	13.10	0.99	0.43	1.62	0.93
Na <sub>2</sub> O	0.30	—	0.30	—	—	—	1.20	—
K <sub>2</sub> O	1.08	0.29	1.02	0.87	1.01	0.36	2.29	1.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.40	—	0.30	—	—	—	1.10	0.30
BaO	0.08	—	—	—	0.09	—	0.27	0.11
PbO	—	—	—	—	—	—	—	—
ZnO	—	—	—	—	—	—	0.07	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—	0.05
Summe-Gew.-%	103.04	110.95	108.15	100.61	107.74	98.09	98.42	96.10

stätten im kristallinen Grundgebirge unterscheiden. Die Ansprache von Schmiedeschlacken wäre in den untersuchten Fällen mitunter problematisch, würde man sich nur auf die chemische Analyse beziehen, da in einzelnen heterogenen Proben deutliche Bleianreicherungen auftreten. Die für den chemischen Vergleich herangezogenen Analysen von fayalitischen Schlackenkalotten zeigen jedoch in ihren Pb, Cu, Zn-Gehalten deutliche Unterschiede zu den Verhüttungsschlacken der Buntmetallgewinnung.

Ein erster Ansatz zu einer Gruppierung von Verhüttungsschlacken der Blei/Silber- und Kupfergewinnung nach zeitlichen und verfahrenstechnischen Gesichtspunkten ist in einem erweiterten SiO<sub>2</sub>/CaO/FeO-Diagramm (Abb. 7) dargestellt. Deutlich hebt sich die Gruppe

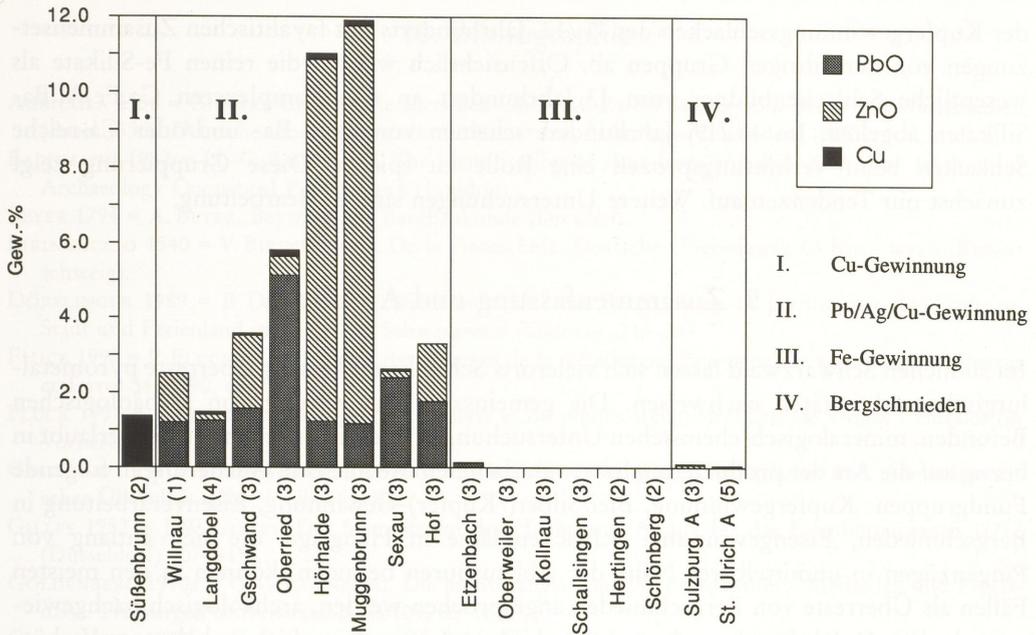


Abb. 6 Verteilung von Pb, Cu und Zn in Schlackenproben von verschiedenen Fundplätzen; Mittelwerte aus ( ) Proben.

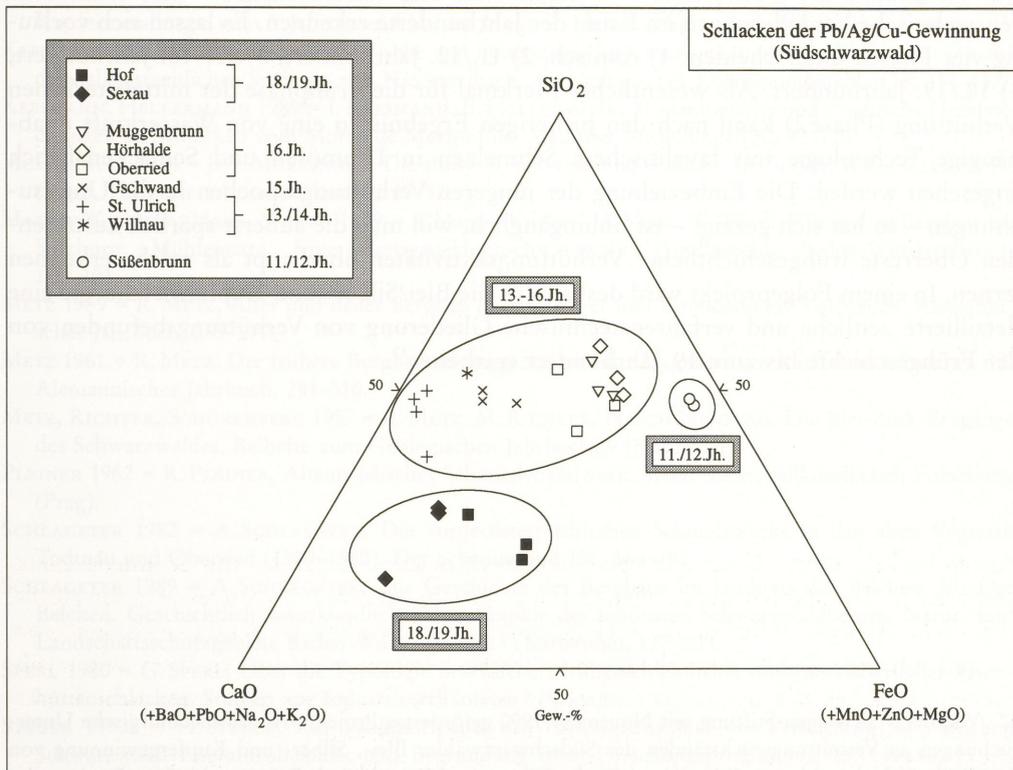


Abb. 7 Blei/Silber- und Kupfergewinnungsschlacken verschiedener Fundplätze in einem erweiterten SiO<sub>2</sub>/CaO/FeO-Dreiecksdiagramm.

der Kupfergewinnungsschlacken des 11./12. Jahrhunderts mit fayalitischen Zusammensetzungen von den übrigen Gruppen ab. Offensichtlich werden die reinen Fe-Silikate als wesentliche Schlackenbildner vom 13. Jahrhundert an von komplexeren Ca,Fe,Al,Ba-Silikaten abgelöst. Im 18./19. Jahrhundert scheinen vor allem Ba- und/oder Ca-reiche Schlacken beim Verhüttungsprozeß eine Rolle zu spielen. Diese Gruppierung zeigt zunächst nur Tendenzen auf. Weitere Untersuchungen sind in Bearbeitung.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Im südlichen Schwarzwald lassen sich vielerorts Schlackenhalden als Überreste pyrometallurgischer Aktivitäten nachweisen. Die gemeinsame Auswertung von archäologischen Befunden, mineralogisch-chemischen Untersuchungen und historischen Quellen erlaubt in bezug auf die Art der produzierten bzw. verarbeiteten Metalle eine Gliederung in folgende Fundgruppen: Kupfergewinnung, Blei/Silber(/Kupfer)-Gewinnung, Eisenverarbeitung in Bergschmieden, Eisengewinnung. Schlackenplätze in Hanglage, die sich entlang von Pingenzügen in unmittelbarer Nähe der Abbauspuren befinden, können in den meisten Fällen als Überreste von Bergschmieden angesprochen werden, archäologisch nachgewiesen seit dem 11. Jahrhundert; Ausnahmen bilden einige wenige bislang bekannte Verhüttungsplätze in ähnlicher Fundsituation aus dem 11./12. Jahrhundert (Schwarzwald, Vogesen). Seit dem 13. Jahrhundert wurden Hüttenwerke systematisch an Bachläufen errichtet, um die Wasserkraft zur Aufbereitung und zum Betreiben von Blasebälgen zu nutzen. Das metallurgische Fundspektrum auf Blei/Silber- und Kupferverhüttungsplätzen läßt verfahrenstechnische Veränderungen im Laufe der Jahrhunderte erkennen. Es lassen sich vorläufig vier Phasen unterscheiden: 1) römisch, 2) 11./12. Jahrhundert, 3) 13.–16. Jahrhundert, 4) 18./19. Jahrhundert. Als wesentliches Merkmal für die Frühphase der mittelalterlichen Verhüttung (Phase 2) kann nach den bisherigen Ergebnissen eine von Wasserkraft unabhängige Technologie mit fayalitischem Schmelzen in Lehmöfen und Schlackenabstich angesehen werden. Die Einbeziehung der jüngeren Verhüttungsepochen in die Untersuchungen – so hat sich gezeigt – ist unumgänglich, will man die äußerst spärlich auftretenden Überreste frühgeschichtlicher Verhüttungsaktivitäten überhaupt als solche erkennen lernen. In einem Folgeprojekt wird deshalb für die Blei/Silber- und Kupfermetallurgie eine detaillierte zeitliche und verfahrenstechnische Gliederung von Verhüttungsbefunden von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert erarbeitet<sup>32</sup>.

32 Von der Volkswagen-Stiftung seit November 1990 gefördertes Projekt »Archäometallurgische Untersuchungen an Verhüttungsrückständen der Südschwarzwälder Blei-, Silber- und Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zur Neuzeit«, durchgeführt am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Freiburg (Prof. Dr. J. Otto, G. Goldenberg) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Freiburg (Prof. Dr. H. Steuer, Dr. U. Zimmermann, H. Wagner).

## 10. Bibliographie

- AGRICOLA 1556 = G. AGRICOLA, *De Re Metallica Libri XII*. Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen (Basel 1556). Deutsche Übersetzung von C. SCHIFFNER, 5. Auflage (Düsseldorf 1978).
- BACHMANN 1982 = H.-G. BACHMANN, The identification of slags from archaeological sites. Institute of Archaeology Occasional Publication 6 (London).
- BEYER 1794 = A. BEYER, *Beyträge zur Bergbaukunde* (Dresden).
- BIRINGUCCIO 1540 = V. BIRINGUCCIO, *De la Pirotechnia*. Deutsche Übersetzung O. JOHANNSEN (Braunschweig).
- DÖRFLINGER 1989 = B. DÖRFLINGER, Wiederaufnahme des Bergbaus im 18. Jahrhundert. In: *Todtnau. Stadt und Ferienland im südlichen Schwarzwald* (Todtnau) 213–247.
- FLUCK 1990 = P. FLUCK, *L'archéologie des mines et de la métallurgie*. Panorama des sites vosgiens. *Pierres et Terres* 34, 1990, 68–71.
- FLUCK 1991 = P. FLUCK, *La métallurgie du cuivre et du plomb argentifère dans les Vosges Centrales* (in Vorbereitung).
- GASSMANN 1991 = G. GASSMANN, *Der südbadische Eisenerzbergbau: Geologischer und montanhistorischer Überblick*. Diss. Freiburg i. Br.
- GILLES 1952 = J. W. GILLES, *Der Stammbaum des Hochofens*. *Archiv für das Eisenhüttenwesen* 11/12 (Düsseldorf) 407–415.
- GOLDENBERG 1990a = G. GOLDENBERG, *Die montanarchäologische Prospektion – Methoden und Ergebnisse*. *Freiburger Universitätsblätter* 109, 85–113.
- GOLDENBERG 1990b = G. GOLDENBERG, *Die Schlacken und ihre Analysen – Relikte der Metallgewinnung und Metallverarbeitung*. *Freiburger Universitätsblätter* 109, 147–172.
- GOLDENBERG, STEUER, ZIMMERMANN 1989 = G. GOLDENBERG, H. STEUER, U. ZIMMERMANN, *Montanarchäologische Untersuchungen im südlichen Schwarzwald*. *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg* 1988 (Stuttgart 1989), 194–202.
- HAUPTMANN 1985 = A. HAUPTMANN, *5000 Jahre Kupfer in Oman*. Band 1: Die Entwicklung der Kupfermetallurgie vom 3. Jahrtausend bis zur Neuzeit. *Der Anschnitt, Beiheft 4* (Bochum 1985).
- KEESMANN 1985 = I. KEESMANN, *Chemische und mineralogische Untersuchungen von Eisenschlacken aus der hallstattzeitlichen Siedlung von Niedererlbach*. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 15, 351–357.
- KEESMANN, HELLERMANN 1989 = I. KEESMANN, B. HELLERMANN, *Mineralogische und chemische Untersuchungen an Schlacken vom Morro de Mezquitilla*. *Madridrer Mitteilungen* 30, 92–120.
- MCDONNELL 1984 = J. G. McDONNELL, *The study of iron smithing residues*. In: SCOTT, B. G., CLEERE, H. (Eds.), *The crafts of the blacksmith*, 47–52.
- MARTIN-KILCHER, MAUS, WERTH 1979 = S. Martin-Kilcher, H. Maus, W. Werth, *Römischer Bergbau bei Sulzburg »Mühlematt«*, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald. *Fundberichte Baden-Württemberg* 4, 170–203.
- METZ 1959 = R. METZ, *Alter und neuer Bergbau in den Lahrer und Emmendinger Vorbergen*. *Alemannisches Jahrbuch*, 255–277.
- METZ 1961 = R. METZ, *Der frühere Bergbau im Suggental und der Urgraben am Kandel im Schwarzwald*. *Alemannisches Jahrbuch*, 281–316.
- METZ, RICHTER, SCHÜRENBERG 1957 = R. METZ, M. RICHTER, H. SCHÜRENBERG, *Die Blei-Zink-Erzgänge des Schwarzwaldes*, Beihefte zum Geologischen Jahrbuch 29 (Hannover).
- PLEINER 1962 = R. PLEINER, *Alteuropäisches Schmiedehandwerk*. *Stand der metallkundlichen Forschung* (Prag).
- SCHLAGETER 1982 = A. SCHLAGETER, *Die vorderösterreichischen Schmelzwerke in den alten Vogteien Todtnau und Oberried (1500–1580)*. *Der Schauinsland* 101, 169–192.
- SCHLAGETER 1989 = A. SCHLAGETER, *Zur Geschichte des Bergbaus im Umkreis des Belchen*. In: *Der Belchen. Geschichtlich-naturkundliche Monographie des schönsten Schwarzwaldberges*. *Natur- und Landschaftsschutzgebiete Baden-Württemberg* 13 (Karlsruhe), 127–309.
- SPEL 1980 = G. SPEL, *Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenschlacken*. *Studien zur Industriearchäologie* 7 (Wien).
- STEUER 1990a = H. STEUER, *Zur Frühgeschichte des Erzbergbaus und der Verhüttung im südlichen Schwarzwald. Literaturübersicht und Begründung eines Forschungsprogramms*. In: NUBER, H. U., K. SCHMID, H. STEUER, Th. ZOTZ (Hrsg.), *Archäologie und Geschichte*. *Freiburger Forschungen zum ersten Jahrtausend in Südwestdeutschland, Band 1* (Sigmaringen) 387–415.

- STEUER 1990b = H. STEUER, Das Forschungsvorhaben »Zur Frühgeschichte des Erzbergbaus und der Verhüttung im südlichen Schwarzwald«. Freiburger Universitätsblätter 109, 23–32.
- STEUER, GOLDENBERG, ZIMMERMANN 1988 = H. STEUER, G. GOLDENBERG, U. ZIMMERMANN, Untersuchungen zur Frühgeschichte des Erzbergbaus und der Verhüttung im südlichen Schwarzwald. Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 1987 (Stuttgart 1988) 328–336.
- SUHLING 1976 = L. SUHLING, Der Seigerhüttenprozeß. Die Technologie des Kupferseigers nach dem frühen metallurgischen Schrifttum (Stuttgart).
- WESTPHALEN 1989 = P. WESTPHALEN, Die Eisenschlacken von Haithabu. Bericht über die Ausgrabungen in Haithabu 26 (Neumünster).
- ZIMMERMANN, GOLDENBERG, 1990a = U. ZIMMERMANN, G. GOLDENBERG Mittelalterlicher Kupferbergbau und Kupferverhüttung in Münstertal-Süßenbrunn, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald. Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 1989 (Stuttgart 1990) 230–235.
- ZIMMERMANN 1990b = U. ZIMMERMANN, Die Ausgrabungen in alten Bergbaurevieren des südlichen Schwarzwaldes. Freiburger Universitätsblätter 109, 115–146.
- ZOLLINGER, MÄCKEL 1989 = G. ZOLLINGER, R. MÄCKEL, Quartäre Geomorphodynamik im Einzugsgebiet des Sulzbaches und der Möhlin, Südbaden. Berichte Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br., 77/78, 81–98.