

Frühmittelalterlicher Bergbau und Silberproduktion von Melle in Frankreich

Florian Téreygeol

Early Middle Age Mining and Silver Production by Melle in France

The mines at Melle represent the best preserved silver mines from Carolingian times. Activities were based on a carstic mineralisation. The astonishing good preservation of the mines is explained by the fact that Carolingian exploitation was the only one happening to the rich occurrence of galena with 2 thousandth of silver. Firesetting was the main way of advancing. Activities took place from the beginning of the 7th to the end of the 10th century AD. Archaeologically all steps of production from mining to the first ore beneficiation still under ground to ore dressing on the surface by crushing to washing, smelting, and refining could be studied. Additional scientific research concentrated on pollution of the environment during Carolingian times, with effects still today, and on the reconstruction of vegetation on the base of abundant samples of charcoal. By experiments all steps of production became reproduced to check the reconstructions based on the archaeological records.

Die Bergwerke von Melle (Poitou-Charentes) stellen die am besten erhaltenen Silbergruben aus karolingischer Zeit dar. Sie fanden in einer Karstlagerstätte statt. Das reiche Bleiglanzvorkommen mit durchschnittlich 2 Promille Silber hat nur diese einzige Periode der Gewinnung erlebt, was die gute Erhaltung erklärt. Hauptvortriebsmethode war das Feuer setzen. Der Abbau dauerte vom Anfang des 7. bis zum Ende des 10. Jahrhunderts. Alle Phasen der Produktion vom Bergbau bis zur Kupellation über untertägige Erzanreicherung und überörtägige Aufbereitung – vom Pochen zum Schlämmen über Verhüttung und Raffination – konnten als Schritte der Produktion montanarchäologisch nachgewiesen werden. Begleitende naturwissenschaftliche Untersuchungen galten in der Karolingerzeit entstandenen und bis heute wirkenden Umweltbelastungen sowie der Vegetationsrekonstruktion anhand der reichlich angefallenen Überreste an Holzkohle. Zusätzlich wurde versucht, alle archäologischen Befunde und Rekonstruktionen durch experimentellen Nachvollzug zu überprüfen.

Mehr als zehntausend in öffentlichen Sammlungen verwahrte und mit dem Namen von Melle (metallum) geprägte

Obolen und Denare (Abb. 1 und 2) sind sicher schon Anlass genug, der Geschichte dieser karolingischen Münzstätte besondere Aufmerksamkeit zu widmen¹. Doch im Fall der nordwestfranzösischen Münze von Melle wird diese überaus reiche Fundüberlieferung zusätzlich noch von ebenso vorzüglich erhaltenen montanarchäologischen Denkmälern begleitet. Seit 1995 haben sich die Forschungen sowohl auf die untertägigen Bergbaurelikte als auch auf die Überreste von Aufbereitungs- und Schmelzanlagen konzentriert. Ihnen kommt besondere Bedeutung zu, da Montanaktivitäten aus der Karolingerzeit nicht eben häufig nachgewiesen werden können.

Die Relikte des mittelalterlichen Bergbaus waren den Bewohnern des Ortes wohl schon immer allgegenwärtig (Abb. 3) und auch früh Thema kleinerer Abhandlungen². Erst seit 1995 war es jedoch möglich, die weitläufigen Befunde auch außerhalb von Melle mit Hilfe unterschiedlicher Prospektionsmethoden zu verfolgen und an ausgewählten Stellen durch Ausgrabungen zu untersuchen. Die Gruben von Melle erweisen sich dabei zwar als ein – montanarchäologisch betrachtet – weniger spekta-



Abb. 1: Münzen aus dem Silber von Melle weisen die Prägung „Metalo“ auf

Abb. 2: Münzen aus Melle. Links: Denar mit Text METALO, OCOARLUS RE (10. Jh.), Rechts: Denar CARLUS REX FR, METALLUM, (9./10. Jh.)



kuläres Denkmal, das seinen Wert aber durch die Datierung in die Karolingerzeit erhält. Die Gruben ermöglichen dank guten Nachweises der gesamten Produktionskette unterschiedlichste Forschungsansätze, und sie bieten Raum für experimentelle und ökologische Fragestellungen³.

Geologie und Lagerstätte

Das Auftreten silberhaltiger Bleierze im Kalkstein ist bemerkenswert, denn Melle liegt auf der Schwelle des Poitou, einem ausgedehnten Sedimentplateau zwischen dem Massiv der Vendée und dem Zentralmassiv. Hier konnte sich aufgrund einer lokalen Aufwölbung des Granits eine Erzlagerstätte in den Karsterscheinungen des Pliensbachium bilden (Abb. 4). Diese Lagerstätte liegt heute nahe der Oberfläche, erreicht eine Mächtigkeit von bis zu 6 m und enthält neben Bleiglanz noch große Mengen Eisenoxide, Quarz und etwas Flussspat⁴. Der Silberanteil des Bleiglanzes liegt bei Werten zwischen 1 und 3 Promille, was zwar gering erscheint, gleichwohl aber im mittleren Bereich silberhaltiger Bleiglanzlagerstätten liegt. An anderen Elementen finden sich Zink, Antimon, Eisen und vor allem Silizium (8-9 %), das mit der Bleivererzung einher geht und so auch für die mittelalterliche Hüttentechnik von einiger Bedeutung war.

Die Lagerstätte erstreckt sich über eine Fläche von 10 x 10 km, tritt aber nur in unterschiedlichen Bereichen von insgesamt ca. 60 km² Größe an die Tagesoberfläche. Zwei Sektoren lassen sich dabei unterscheiden, nämlich eine Zone mit 1-40 kg Bleiglanz und ein reicherer Bereich mit einer Vererzung von 40-160 kg Erz je Kubikmeter (vgl. Abb. 2).

Archäometrische Datierung und historischer Hintergrund

Dank der Münzstätte und -funde ist klar, dass der Bergbau von Melle während der Karolingerzeit in Blüte stand. Spuren eines immer wieder diskutierten äl-

teren Bergbaus fehlen ebenso wie Indizien für jüngere Aktivitäten. Im Rahmen unserer Untersuchungen sollten die absolute Datierung der gesamten Bergbautätigkeiten vorangetrieben und alle Mittel und Wege zur Dokumentation und Bewertung der Befunde ermittelt und erprobt werden.

Angesichts der großen Mengen von Holzkohle in praktisch allen Bereichen des Bergbaus sowie der primären und sekundären Metallurgie stellt die Radiokarbonmethode ein probates Mittel zur Datierung des Bergbaus von Melle dar. Zurzeit liegen 23 Radiokarbonaten vor, die eine Entwicklung der Erzgewinnung über vier Jahrhunderte belegen – vom Beginn des 7. bis zum Ende des 10. Jahrhunderts, wobei die Daten besonders für das 8. und 9. Jahrhundert recht zahlreich sind. Um eventuelle statistische Fehler bei der Datenerhebung zu begrenzen, wurde ein einziger Grubenkomplex (TDF) allein dreizehnmal beprobt, doch auch hier entsprach der Zeitrahmen dieses Abbaus dem der übrigen Daten. Die Silbergewinnung von Melle begann danach während der Merowingerzeit, erlebte seit dem Anfang des 8. Jahrhunderts eine Blüte, um schließlich mit dem Ausklang der Karolingerzeit in Frankreich zu enden (Tab. 1)⁵.

Erstaunlicher Weise konnten für eine Wiederaufnahme des Bergbaus in späterer Zeit keinerlei Belege gefunden werden. Auch die Keramik aus den unter- und übertägigen Befunden belegt ein Ende des Bergbaus um die Zeit der Krönung von Hugo Capet (987), wobei bislang allerdings nur ein kleiner Teil der Fundstellen entsprechend detailliert untersucht werden konnte. Gleiches gilt für die Annahme von Bergbauaktivitäten in römischer Zeit, auch hierfür fehlen jegliche Funde. So bleibt es bemerkenswert, dass die derzeitigen Radiokarbonaten perfekt mit den beiden einzigen erhaltenen schriftlichen Quellen zum Silbererzbergbau von Melle harmonisieren⁶. Während das Kapitular von Pîtres (864) ganz eindeutig die Existenz einer Münzstätte für Melle belegt, ist die Textstelle in den Gesta Dagoberti weniger sicher. Die Lebensbeschreibung des merowingischen Königs Dagobert I. (629-638) wurde zu Anfang des 9. Jahrhunderts im Kloster von Saint-Denis verfasst; zu einer Zeit, als die Bergwerke



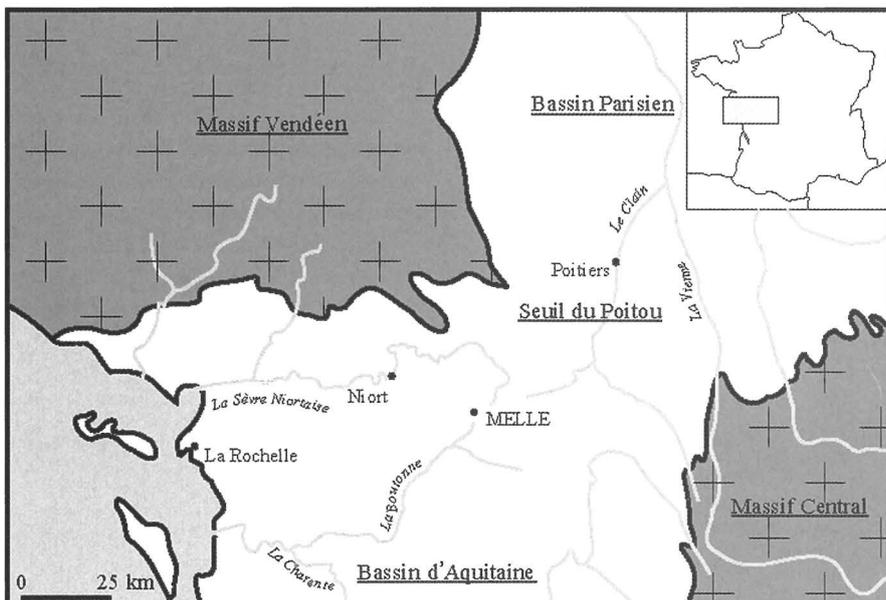
Abb. 3: Steinbrucharbeiten des 19. Jahrhunderts haben die karolingischen Grubenbaue in Melle großflächig angeschnitten und zugänglich gemacht

von Melle in voller Blüte standen. Es wäre daher nicht verwunderlich, wenn von Seiten der in Saint-Denis ansässigen Benediktiner ein großes Interesse an den Erträgen der Gruben bestanden hätte. So sollen bereits zu Zeiten Dagoberts alle zwei Jahre 8000 Pfund Blei an das Kloster geliefert worden sein. Dies ist zwar theoretisch möglich, wird exakt aber nicht zu beweisen sein, da die historischen Quellen sich ausschließlich auf

die Biographie des Königs beziehen, während die archäologischen Belege zurzeit nur aus einigen Radiokarbonaten bestehen, die aus der 1. Hälfte des 7. Jahrhunderts stammen können.

Die Numismatik könnte diese Hypothese durch vergleichende Bleiisotopenuntersuchung an den merowingischen Münzen von Brioux⁷, Saint-Maxent⁸ und einer Fundmünze aus Melle⁹ überprüfen.

Abb. 4: Geologische Übersichtskarte der weiteren Umgebung von Melle (Dep. Poitou-Charentes). Die Lagerstätte verdankt ihre Entstehung einer eng begrenzten Aufwölbung des Granits



Probe	Wahrscheinlichkeit in %	Herkunft	600	700	800	900	1000 n.Chr.
Ly-8313	(84,0)	TDF	602-----704				
Ly-8312	(85,0)	Semme		690-----750			
Ly-8309	(83,4)	Araignée	625-----763				
ARC 1922	(94,8)	TDF	640-----775				
ARC 1924	(88,0)	TDF	645-----780				
Ly-8310	(84,8)	Noblette	657-----783				
Ly-8311	(85,2)	Rue des mines		674-----858			
ARC 1735	(95,7)	Araignée	660-----890				
ARC 1921	(94,1)	TDF	675-----890				
ARC 1923	(92,4)	TDF	680-----895				
ARC 1734	(93,3)	Semme	680-----895				
ARC 1918	(94,1)	TDF	675-----890				
ARC 1926	(94,1)	TDF	675-----890				
ARC 1732	(94,1)	Noblette	675-----890				
ARC 1925	(97,5)	TDF	675-----975				
ARC 1733	(90,1)	FT		780-----900			
ARC 1920	(74,2)	TDF		770-----915			
ARC 1492	(90,6)	TDF		770-----980			
ARC 1919	(95,4)	TDF		775-----980			
ARC 1374	(70,8)	LB			845-----980		
ARC 1320	(78,7)	TDF			850-----990		
ARC 1319	(83,5)	TDF			855-----995		
ARC 1736	(81,8)	Rue des mines			855-----995		

Tab. 1: Melle, Frankreich. ¹⁴C-Daten aus Gruben, einer Erzaufbereitungsanlage (ARC 1374) und einem Schmelzplatz (ARC 1733)

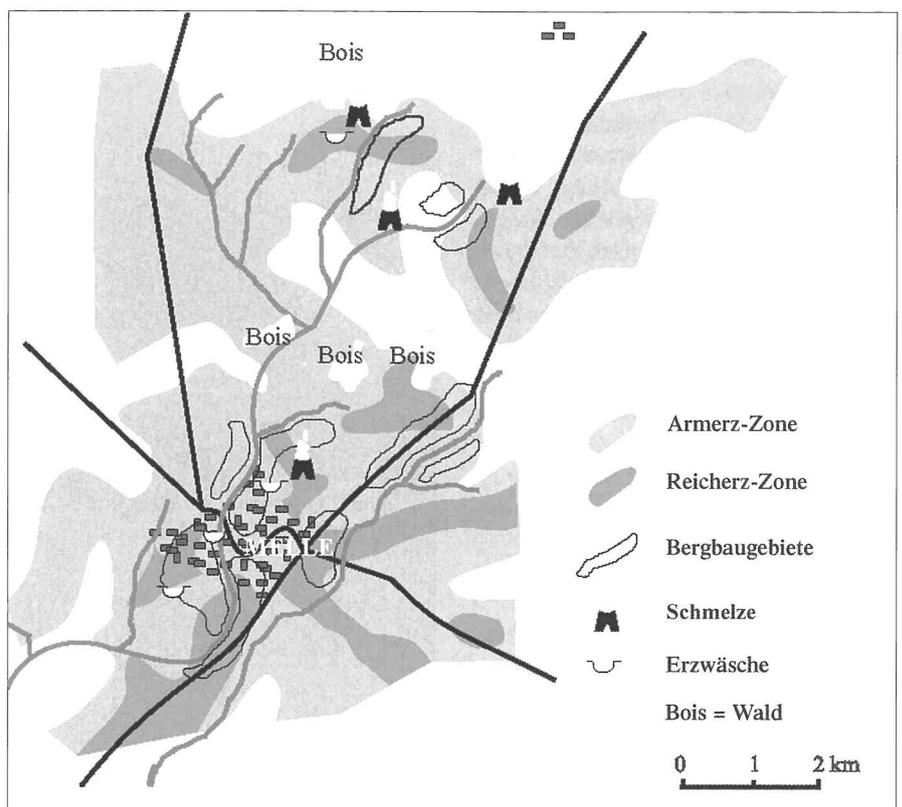
Doch ohne sich in Vermutungen zu verlieren, kann nach heutigem Kenntnisstand ein Bergbaubetrieb in Melle vom Ende der Merowingerzeit bis zum Ende der Herrschaft der Karolinger in Frankreich angenommen werden.

Der Bergbau

Forschungsstrategien

Die sichtbarsten Spuren des Altbergbaus liegen einerseits im Bereich der Gemeinde von Melle, andererseits am Lauf des Flusses Béronne. Die hier seit dem 17. Jahrhundert eröffneten Steinbrüche (vgl. Abb. 3) trugen erheblich zur Kenntnis der Gruben bei. Gerade im Bereich der Béronne lassen sich trotz größerer Zerstörungen auch heute noch durch den Steinbruchbetrieb angeschnittene Grubenbaue entdecken. Zahlreiche Gruben finden sich auch im Ortskern; ihre Eingänge, häufig auf Privatgrund, sind geschützt und der Zugang ist be-

Abb. 5: Skizze der Erzlagerstätten um Melle. Die Karte zeigt die Verdichtung des Altbergbaus im heutigen Zentrum des Ortes und seine Beziehung zu den stärker vererzten Partien der Lagerstätte



schränkt. Aber das Stadtgebiet erstreckt sich nicht über das gesamte Gebiet der Lagerstätte, es bedeckt vielmehr nur dessen südlichen Teil. Bergbauspuren, markante Geländeunebenheiten, Halden in Form kleiner Hügel und Hangfächer kennt man auch aus den benachbarten Gemeinden.

Angesichts der 60 km² großen Fläche der Lagerstätte waren der Natur entsprechend zuerst Luftbilder für die Prospektion von ausschlaggebender Bedeutung. Während aber das Stadtgebiet von Melle mit Luftbildern gut abgedeckt ist, ist der ländliche Raum in den Bildern des Institut Géographique National weniger häufig vertreten. Unter den Luftbildserien zwischen 1945 und 1993 sind sieben Serien wegen ihres Aufnahmemaßstabes, der Bedeckung und des Aufnahmezeitpunkts (Vegetation) für archäologische Fragestellungen von besonderer Bedeutung. Die älteren Serien zeigen Aufnahmen von Melle noch vor Beginn der Verstädterung und späterer Flurbereinigungen. Luftbilder aus geringer Höhe erlauben die Auflösung von Objekten von bis zu 2 m Größe, schließlich bieten gerade die jüngeren Serien eine flächendeckende Dokumentation des gesamten Gebietes.

Da jede Anomalie im Luftbild im Gelände überprüft wurde, zeichnet sich folgendes Bild ab: Die Abbaugelände verteilen sich über die gesamte Fläche der Lagerstätte. In ihrer Südhälfte, dem Gebiet der reichsten Erzvorkommen, scheint ein besonders intensiver Bergbau umgegangen zu sein. Die auffällige Konzentration der Bergbaubefunde in diesem Bereich ist sicher ein Indiz für die Fähigkeiten der karolingischen Prospektoren, doch verstellen sie gleichzeitig auch den Blick auf den Bergbau, der in weniger stark vererzten Teilen der Lagerstätte anzunehmen ist. Die mittelalterlichen Erzsucher folgten offensichtlich dem Wassernetz, denn die sich in den anstehenden Felsen einschneidenden Flüsse ermöglichten ihnen den freien Blick auf die hier oberflächennah anstehenden Vererzungen. Durch die Kartierung der verschiedenen Abbaugelände mit Hilfe von Luftbildern und Feldbegehungen lassen sich die Grenzen der Grubenfelder anhand der zahlreichen Schachtmundlöcher sehr exakt bestimmen (Abb. 5).

Abbauverfahren

Um die Arbeitsschritte beim Abbau einer Vererzung besser verstehen zu können, wurde einer der Befunde ausgewählt und hinsichtlich Topographie und Datierung durch Grabungen und Einzelaufnahmen im Detail dokumentiert. Dabei ließen sich die folgenden Befunde feststellen:

Abbauorte

Die runde oder ovale Form der Stöße ist in Melle charakteristisch für die Gewinnungsorte und verrät als hauptsächliche Abbaumethode das Feuersetzen (Abb. 6 und 7). Durch die Hitze großer Holzfeuer wurden im Gestein Spannungen erzeugt, welche es zermürbten und zu schalenförmigen Abplatzungen führ-



Abb. 6: Melle, Revier T.D.F. Abbauort mit deutlichen Spuren des Feuersetzens

ten¹⁰. Während diese Abbautechnik – physikalisch bedingt – immer vergleichbare Strukturen aufweist, zeigen sich doch Unterschiede hinsichtlich der Größe der Befunde, die sich um Maße um 150 cm, 100 cm und 70 cm Durchmesser gruppieren. Die Unterscheidung kleiner und mittelgroßer Örter fällt leicht, problematisch ist hingegen die Ansprache der größeren Befunde, da sie auch aus einer Reihe kleinerer Befunde entstanden sein können (Abb. 8).

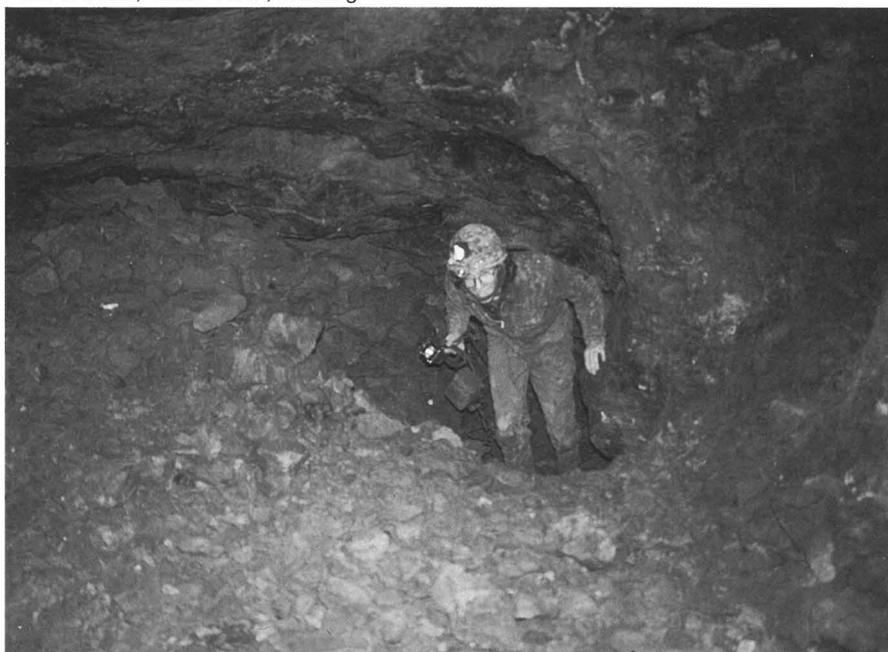
Abraum

Als Abraum klassifizieren wir alles Gestein, das durch Feuersetzen oder manuell mit Gezähren hereingewonnen und ohne bemerkenswerte Klassifikation lose angehäuft wurde. Derartiger Abraum unterscheidet sich leicht durch seine ge-



Abb. 7: Melle, Revier T.D.F, Ortsbrust des Vortriebs 2

Abb. 8: Melle, Grube T.D.F, Weitung



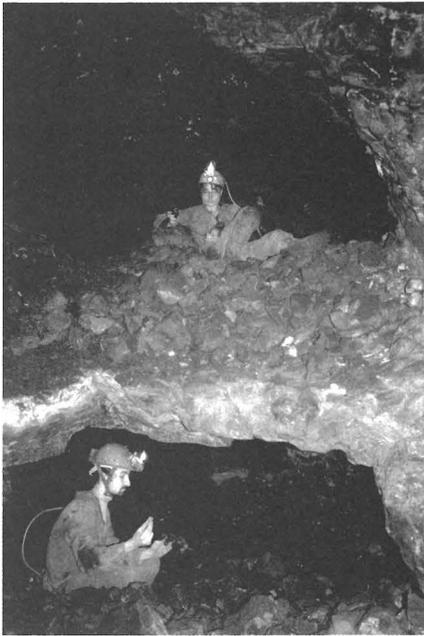


Abb. 9: Gelegentlich kam es zu zweisöhligem Abbau in Melle



Abb. 10: In den ausgedehnten Grubenräumen lassen sich an einzelnen Stellen Strecken von bis zu 20 m Länge nachweisen

Abb. 11: Hauklein und Sand als Zeugnis einer ersten untertägigen Aufarbeitung der gewonnenen Erze



ringere Größe von Blöcken aus Verbrüchen oder von Material, das nach dem Ende des Bergbaus anfiel. Sie haben in der Firste Ausbrüche hinterlassen und liegen stratigrafisch auf dem Versatz (Abb. 9).

Strecken

Strecken geben sich in den Grubenräumen durch wegartige Freiflächen im Versatz zu erkennen (Abb. 10). An besonders schmalen Stellen werden die Strecken auch von Mauern begrenzt,

hinter denen Abraum versetzt und aufgestapelt werden konnte (vgl. Abb. 8). In größeren Grubenräumen zeichnet sich der die Strecken begrenzende Versatz häufig durch eine Größensortierung des Gesteinsmaterials aus. Die Länge dieser Strecken schwankt zwischen wenigen Metern und bis zu 20 m.

Abbaufeld

Ein Abbaufeld besteht aus einem oder mehreren Abbauörtern. Je nach Fortschritt und Dauer der Arbeiten zeigt er

heute unterschiedliche Mengen von Abraum, wobei die Menge des Versatzes mit dem Alter des Abbaus ansteigt. Je älter das Abbaufeld, umso mehr Haufwerk liegt vor. Ein solcher Betriebspunkt sollte notwendigerweise über wenigstens zwei Wetterschächte verfügen. Diese können im Feld oder in unmittelbarer Umgebung liegen. Eine ausreichende Bewetterung stellte sich nur ein, wenn die beiden Schächte durch den Grubenbau miteinander verbunden waren. Die Anlage entsprechender Schächte war unerlässlich, sobald der Abbau eine gewisse Ausdehnung erlangt hatte oder in Zusammenhang mit dem Feuersetzen stand (vgl. Abb. 7).

Aufbereitung

Erst nach einer Sichtung der hereingewonnenen Erze und einer ersten Scheidung vom tauben Material gelangten die Erze nach über Tage. In den Gruben zeigt sich dieser Arbeitsschritt in Haufwerk unterschiedlichen Durchmessers. Es handelt sich dabei um mit Holzkohle vermischte Gesteinsfragmente von maximal 5 cm Durchmesser, die immer noch die typische schuppen- oder schalenförmige Struktur des durch Feuersetzen gewonnenen Gesteins erkennen lassen. Nach dieser ersten Scheidung erfolgte offensichtlich eine weitere deutliche Anreicherung des Materials, die sich heute durch Sandlinsen zu erkennen gibt, denen zuweilen feine Holzkohleschichten eingelagert sind. Während der Ausgrabungen konnten zwei untertägige Aufbereitungsplätze entdeckt werden. Es sind kreisförmige, mit grobstückigem, wandartig aufgebautem Hauklein umgebene Strukturen, in

Abb. 12: Melle, Revier T.D.F. Deutlich vom Feuersetzen gerundete Abbaufrent





Abb. 13: Melle, Revier T.D.F. Lageplan des ausgedehnten Reviers mit den Bereichen I – XI

deren Mitte sich Sande als Reste der ersten manuellen Scheidung von Erz und taubem Gestein abgelagert haben (Abb. 11).

Versatz

Mit fortschreitendem Bergbau sahen sich die Bergleute von Melle mit dem Problem konfrontiert, das taube Material ohne großen Aufwand zu bewältigen. Wie auch heute, wählte man den Weg, das Material an allen möglichen Plätzen unter Tage zu belassen, wo es den Fortgang der Arbeiten nicht behinderte. Dabei konzentrierte man sich auf die Bereiche, die als Abbauörter bereits an Bedeutung verloren hatten und zudem für die Verbindung unterschiedlicher Betriebspunkte nebensächlich waren. In derart versetzten Grubenräumen ist eine uneingeschränkte Bewegung von Menschen heute völlig ausgeschlossen.

Schächte

Kein einziger der zahlreichen Schächte war noch befahrbar. Die durchweg verfüllten Schächte sind im Gelände leicht als Pingen zu lokalisieren. Sie zeigen konische Ringhalden und geben sich durch Brüche im Anstehenden und durch Risse in der Verfüllung zu erkennen. Im Bereich der Schachtmundlöcher haben eindringende Wässer oft zu umfangreichen Verkalkungen geführt.

Das Grubenfeld T.D.F.

Alle diese in Frage kommenden Befunde finden sich an verschiedenen Orten des Reviers T.D.F. und erlaubten es uns, den labyrinthischen Eindruck der Grube zugunsten von Fragen hinsichtlich der Ordnung des Raums und der Organisation der untertägigen Arbeit zu vernachlässigen. Im Gegensatz zum Gangerzbergbau sind die durch Feuersetzen aufgefahrenen Grubenräume zuerst Abbauorte (Abb. 12), bis sie im Verlaufe des Bergbaus schließlich andere Funktionen übernehmen, Raum bieten für den Versatz oder der ersten Scheidung der hereingewonnenen Erze dienen. Abgesehen von den Schächten dienen alle Hohlräume direkt dem Abbau. In Melle gibt es weder Wasserlösungsstollen noch

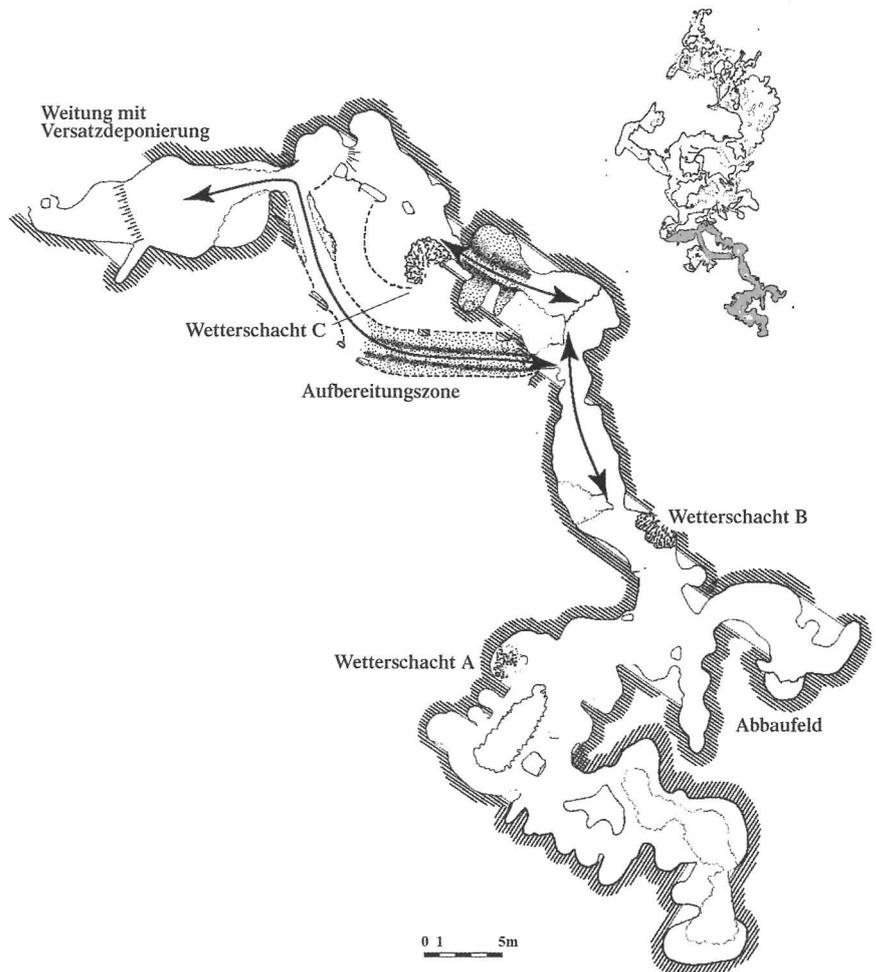


Abb. 14: Melle, Revier T.D.F. Der Bereich XI lässt sich heute in eine Zone mit Versatz, einen Bereich mit Relikten der Erzaufbereitung und einige ausgedehnte Abbauörter untergliedern. Pfeile markieren Fahrrichtungen, die sich als Strecken erhalten haben

Querschläge. Die Vererzung entwickelte sich entlang der Brüche im Karst, und die Bergleute folgten diesen Spalten (Abb. 13).

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Bergbaubefunde und der Anordnung der Grubenräume lassen sich hier elf Abbaue unterschiedlicher Qualität erschließen, von denen allerdings nur drei Anlagen alle Merkmale aufweisen. Der Plan des Grubenbaus XI ist in dieser Beziehung besonders illustrativ (Abb. 14). Die ausgedehnten Weitungen verfügen über eine Höhe von über 1,50 m, an den Stößen zeigen sich zahlreiche Abbauörter, und kaum versetzte Bereiche im Zentrum der Grube zeigen, dass der Abraum in anderen Bereichen deponiert wurde. Während des Feuersetzens zog der Rauch über den Schacht A ab, Frischluft konnte über den etwa 10 m entfernten Schacht B eindringen. Stre-

cken lassen sich zunächst zwischen den Stößen, dann auch in den Sanden der untertägigen Erzaufbereitung nachweisen, die unmittelbar am Förderschacht C lag. Grobstückige Gesteinsbrocken wurden zudem in einer nördlich gelegenen Weitung versetzt.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die von uns festgestellten Einheiten I bis XI unabhängig voneinander bestanden. Die Grube XI ist mit den anderen Gruben nur durch eine 50 cm hohe Öffnung verbunden, und es ist nicht anzunehmen, dass derartige Durchlässe üblicherweise zur Fahrung oder Förderung benutzt wurden. Selbst wenn alle Grubenbaue derart miteinander verbunden gewesen wären, dürfte die fortwährende Verlagerung von Hauklein und taubem Gestein zu einer funktionalen Trennung der einzelnen Grubenbaue geführt haben.

Erzaufbereitung

Nach dem Abbau musste das gewonnene Erz nach der ersten Handscheidung unter Tage für die Verhüttung aufbereitet werden. Aufbereitungs- und Waschanlagen liegen in einiger Entfernung von den Hüttenplätzen. Bei ihrer Lokalisierung erwies sich die Luftbildarchäologie als ineffektiv, ihr Nachweis gelang erst durch Feldbegehungen. So war es möglich, im Umfeld der Lagerstätte bislang vier Erzaufbereitungsanlagen zu identifizieren. Entgegen aller Erwartung stehen diese Anlagen mit dem derzeitigen Gewässernetz in keinem unmittelbaren Zusammenhang; bei zwei Plätzen zeigt sich nicht die geringste Verbindung zu Bächen, Flüssen oder einer Quelle. Dass sie mit den Gruben in Verbindung stehen, war zwar zu erwarten; ihre große Nähe aber überraschte dann doch, zwei der Plätze liegen sogar in unmittelbarer Nähe von Schachtmundlöchern. Mit dem Platz von Boulitotes¹¹ konnte ei-

Abb. 15: Melle, Boulitotes. Übersichtsskizze einer Konzentration von Schächten und Erzaufbereitungsanlagen

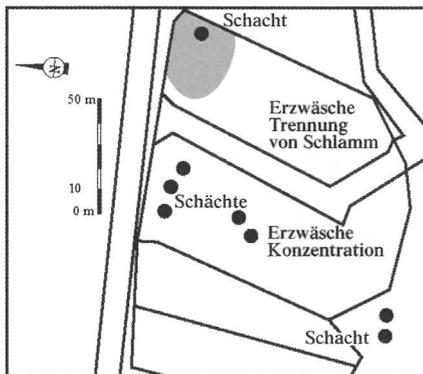


Abb. 16: Relikt einer Grube zur ersten Erzwäsche in Melle

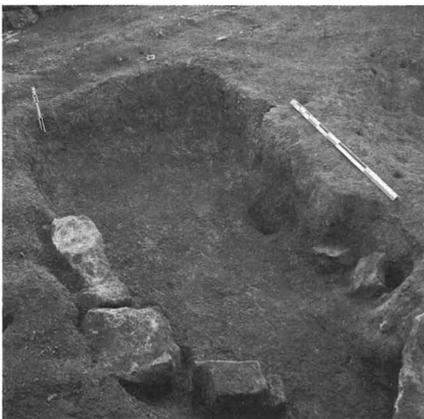


Abb. 17: Kanälchen und Gruben von der Erzwäsche in Melle

Abb. 18: Im Profil der Grabung in Melle zeichnen sich die tauben Abgänge der Erzwäschen ab



ne der vier Aufbereitungsanlagen eingehender archäologisch untersucht werden, wobei sich eine recht eindeutige Verteilung unterschiedlicher Befunde beobachten ließ (Abb. 15). So zeichnete sich unter den 80 Waschplätzen eine Zweiteilung ab, mit runden und recht tiefen Gruben im Osten und eher lang gestreckten Gräben im Westen (Abb. 16 und 17). Da sich diese Befunde nur selten überlagerten, ist eine räumliche Verteilung unterschiedlicher Arbeiten nahe liegend. Zunächst erfolgte in den runden, östlichen Gruben eine erste Reinigung des Haukleins, dann eine Sichtung und

Zerkleinerung der Erze. Diese Tätigkeit ließ sich am Ort durch mehr als 200 Ambosssteine nachweisen. Schließlich konnten reiche Erzstücke ausgelesen und feineres Konzentrat in den Gräben aufbereitet werden. Taubes Material gelangte auf die Halde (Abb. 18).

Im Rahmen der Grabung konnten auch noch einige benachbarte, 6 m bis 8 m große Schachtmundlöcher untersucht werden, die sich bereits in geringer Tiefe auf eine Schachtröhre von 1 m reduzierten. Auffällig war auch hier, dass es zwischen den weiten Schachtmundlö-

chern und den Befunden der Nassaufbereitung zu keinerlei Überschneidungen kam, wahrscheinlich also beide Bereiche – zumindest eine Zeit lang – gleichzeitig betrieben wurden. Die Verfüllung der Schächte und die Lage der eigentlichen Halde am Ostrand des Ensembles scheinen zusätzlich darauf hinzudeuten, dass sich der Bergbau während seines Betriebs zwischen ca. 850 und 950 n. Chr. allmählich von Westen nach Osten verlagerte. Aller Wahrscheinlichkeit nach war nur jeweils immer eine kleine Anzahl von Schächten, Wasserbecken und Gräben gleichzeitig in Betrieb, wie auch für den gesamten Komplex eine eher kürzere Betriebszeit angenommen werden kann. Eventuell hatte man bei der Anlage der letzten Gräben die Erinnerung an die Anfänge des Platzes noch nicht verloren.

Metallurgie

Die Erforschung der mittelalterlichen Hütten- und Kupellationstechniken stellte lange Zeit ein Problem dar, da es unmöglich schien, auch nur einen Hüttenplatz im Gebiet von Melle in situ nachweisen zu können, obwohl durch Bleiglättefunde klar war, dass mit einer entsprechenden Metallurgie zu rechnen war. Durch Prospektionen sowie die Aufarbeitung einer älteren Grabung konnte dieses Bild unterdessen korrigiert werden. Mittlerweile kennen wir bereits vier Hüttenplätze (Abb. 19), von denen einer im nördlichen Stadtgebiet, die übrigen aber am Nordrand der Lagerstätte liegen (vgl. Abb. 5). Die Gewinnung von Silber in beträchtlicher Entfernung von Melle zeigt, dass man es offensichtlich verstand, ein größeres Territorium zu kontrollieren, um gegen wie auch immer geartete „Verluste“ bei der Silbergewinnung oder auf dem Weg zur Münzstätte vorgehen zu können.

Die Hüttenplätze liegen in der Nähe der Gruben, zwei von ihnen zudem auch in der Nähe von Aufbereitungsplätzen. Da eine räumliche Verbindung von Erzaufbereitung und Verhüttung nicht überrascht, stellt sich die Frage, ob in den anderen Fällen die Prospektion nur lückenhafte Ergebnisse lieferte, oder ob nicht doch auch andere Produktions-

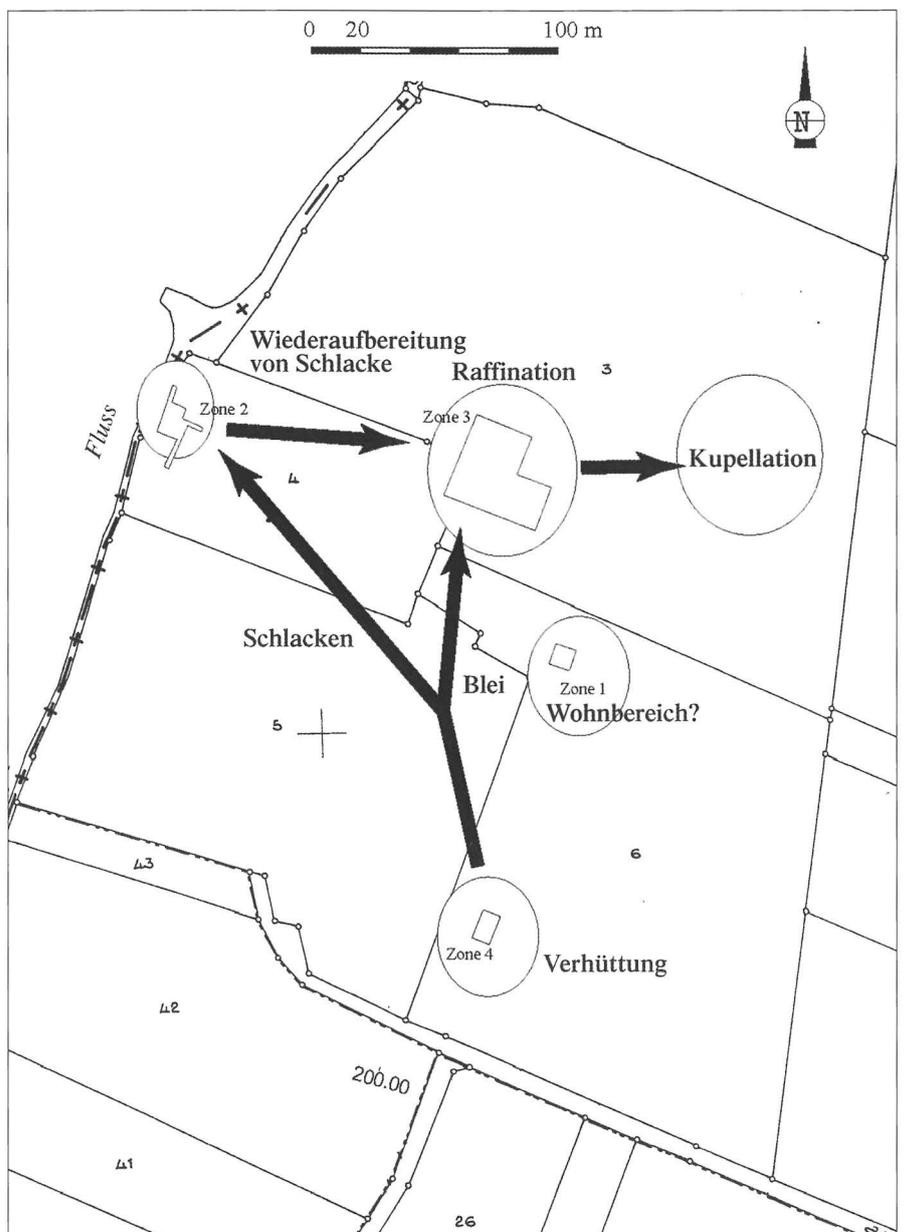


Abb. 19: Melle, Triangel. Rekonstruktion der metallurgischen Aktivitäten nach den Ergebnissen der Prospektion

verhältnisse vorlagen. Mit Bleiglättefunden von drei Fundplätzen ist die Trennung von Blei und Silber für diese Fundstellen nun jeweils sicher nachgewiesen. Dank einer Ausgrabung konnte dem Problem der Organisation eines derartigen Platzes nachgegangen werden. Von großer Bedeutung waren aber auch Geländebegehungen und die Prospektion mittels Geomagnetik. Durch Begehungen konnten Schlacken zwar auf einer Fläche von vier Hektar nachgewiesen werden, zu einer signifikanten Konzentration von Produktionsabfällen mit Schlacken bis zu Kieselgröße kam es

aber nur am Hangfuß. Die ausgedehnte geomagnetische Prospektion, die sich über sechs Hektar erstreckte, zeigte hingegen einige auffällige Anomalien an Stellen, die bei der Feldbegehung keine metallurgischen Reste geliefert hatten. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse beider Prospektionsverfahren zeigten die sich anschließenden Ausgrabungen eine Dreiteilung der Gesamtanlage (vgl. Abb. 19). Im oberen Bereich des Platzes lagen die Schmelzöfen, hier wurde das silberhaltige Blei auch erneut aufgeschmolzen und raffiniert. Schlacken aus dem ersten Verhüttungsprozess brach-

te man zu einem Bach, um hier die in den Schlacken eingeschlossenen Metalltropfen durch eine mechanische Aufbereitung und die Wäsche des Mahlgutes zu sichern. Die kleinen Bleitropfen und die Bleiglätte wurden dann erneut mit dem silberhaltigen Blei verschmolzen.

In einem letzten Schritt folgte dann die Trennung von Blei und Silber. Vermutlich geschah dies im Osten des Platzes, an einer Stelle, die zwar noch nicht archäologisch untersucht werden konnte, dafür aber auffällig viele Blei- und Bleiglättefunde zeigte und sich auch in der geomagnetischen Prospektion als auffällige Anomalie zu erkennen gab.

Neben der Nähe zu den Gruben waren offensichtlich zwei weitere Faktoren für die Wahl dieses Platzes von großer Bedeutung, nämlich Wind und Wasser. So ließ sich nachweisen, dass man für die Hüttenplätze bevorzugt höher gelegene Areale auswählte und an diesen Plätzen die Öfen und Herdstellen an einer Ost-West-Achse ausrichtete. Die Öffnung der Schmelzöfen wies dabei nach Westen, die der Herdstellen nach Osten.

Wasser war für die Aufbereitung der Schlacken unverzichtbar, während der Ausgrabungen aufgedeckte Gräben und

Abb. 20: Rest des Ofens zur Raffination mit Abflussgräbchen in Melle



ein großes Sammelbecken dürften mit diesen Aktivitäten in Zusammenhang gestanden haben (Abb. 20). Die Verlagerung des Schlackenmaterials von den Hütten- zu den Aufbereitungsplätzen um mehr als 200 m führte dazu, dass die Öfen als eigentliche Zentren der Metallurgie sich kaum durch Oberflächenfunde zu erkennen gaben, nachgeordnete Befunde aber gerade diese Zentren vorspiegelten.

Experimentelle Archäologie

Aufgrund der besonderen Form der Lagerstätte und des in ihr umgehenden Bergbaus hatten sich an vielen Stellen noch leicht abbaubare Erzpartien erhalten. Dank dieses Umstandes, der außerhalb von Eisenerzgruben recht selten ist, bestand die Möglichkeit, alle Arbeitsschritte – vom Abbau bis zur Kupellation – vor Ort im Experiment zu überprüfen. Dies sollte nicht nur dazu dienen, die während der Ausgrabungen entwickelten Hypothesen zu überprüfen, sondern auch für Probenmaterial aus detailliert dokumentierten Herstellungsverfahren sorgen, um diese dann in einem weiteren Schritt mit den metallurgischen Resten der karolingischen Produktion, wie etwa Schlacken, Blei und Bleiglätte zu vergleichen.

In einem ersten Schritt sollten das Feuerersetzen und die weiteren Abbau- und Aufbereitungstechniken untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde ein bislang unberührter Bereich mit einer beachtlichen Vererzung ausgewählt und insgesamt 31 mal durch Feuerersetzen angegriffen, wobei 1,6 t Holz zum Einsatz kamen und alles in allem 2,3 t Gestein herein gewonnen werden konnten. Der archäometrische Ansatz konzentrierte sich dabei auf die Dokumentation von Holzverbrauch und Erzausbeute, festgehalten wurde aber auch die Temperatur im Innern des Gesteins (Abb. 21).

Da ein Teil des Haukleins durch Holz, Holzkohle und Erdreich verschmutzt war, musste dieses Material vor einer weiteren Zerkleinerung separat gereinigt werden (Abb. 22). Das übrige Material konnte sofort weiterverarbeitet werden,

wobei diese Partie im Verlaufe der ersten Trennung vom tauben Gestein von 1793 kg auf 630 kg abnahm. Erze und taubes Gestein zeigten dabei ein charakteristisches Erscheinungsbild, wie es auch in den Gruben beobachtet werden konnte.

In einem weiteren Arbeitsgang reduzierte sich das Gewicht der Probe noch einmal beträchtlich. Die verbleibenden 200 kg enthielten schließlich 32 % reines Erz, das nach einer Bearbeitung auf Erzmühlen, wie sie während der Grabungen

Abb. 21: Experiment zum Feuerersetzen in Melle



Abb. 22: Experiment zur Erzwäsche





Abb. 23: Schmelzversuch zur Reduktion von Bleiglanz zu Blei

bis zur Darstellung des Edelmetalls nicht gerechnet werden konnte (Abb. 24). Immerhin aber gelang die Anreicherung des Silbergehaltes im Werkblei.

Umwelt und Umweltbelastungen

Die Gewinnung von Blei und Silber blieb für den Naturraum nicht ohne Konsequenzen, wobei ein Nachweis dieser Veränderungen am einfachsten zunächst über die Bestimmung der im Berg- und Hüttenwesen verbrauchten Hölzer gelingt. So ließ sich im Bereich des Hüttenplatzes ein mit 16 Arten recht breites Holzkohlespektrum nachweisen, dessen Zusammensetzung die Existenz eines

durch den Menschen schon stark beeinflussten Eichen-Buchen-Mischwaldes nahe legt¹². Im Bergbau ist das Artenspektrum mit nur sechs verschiedenen Holzarten wesentlich schmäler. Es dominieren Buche (60 %), Eiche (25 %) und Kastanie (11 %), während sich die verbleibenden vier Prozent auf Eberesche, Haselnuss und Erle verteilen. Dieses Spektrum ist sicherlich nicht repräsentativ für die Vegetation in unmittelbarer Umgebung der Gruben, sondern reflektiert die gezielte Auswahl einzelner Arten.

Das gewonnene Bild lässt sich jedoch stärker konkretisieren, wenn man die Verteilung der Holzarten in den jeweiligen Grubenbauen betrachtet. Folgt man dabei der weiter oben festgestellten Anordnung, so geben sich einzelne Holzspektren zu erkennen, die auch mit der

entdeckt werden konnten, in Form kleiner Körner (37 kg) und als Erzsand (27 kg) vorlag. Teile des Erzsandes wurden dann noch einmal im Sicheretrog konzentriert, ein anderer Teil aber als Referenzprobe zurückgehalten, da während der Ausgrabung ein länglicher Graben im Zusammenhang mit der Erzaufbereitung entdeckt worden war.

Um den Schwefelgehalt zu reduzieren, gelangte das Erzkonzentrat nun zum Röstplatz, wo das Erz in fünf Chargen geröstet und dadurch noch einmal von 60 kg auf 30 kg konzentriert wurde. Die Reduktion dieses Erzkonzentrats erfolgte dann in niedrigen Schachtöfen, die in Anlehnung an vorhandene archäologische Befunde errichtet wurden (Abb. 23). In allen Prozessen zeigten sich eine geringere Menge Blei an der Ofensohle und reichere Bleikonzentrationen in Höhe der Düsen, die dann auch durch eine Aufbereitung der Schlacken gesichert werden konnten. Insgesamt konnte bei unseren Versuchen nicht mehr als 1 kg Blei gewonnen werden, was sicherlich daran lag, dass der Verhüttungsprozess von uns noch nicht beherrscht wird. Trotz allem scheinen wir auf dem richtigen Weg zu sein, da allein im letzten Versuch mehr als die Hälfte der gesamten Bleiausbeute anfiel. Es versteht sich von selbst, dass angesichts dieser Schwierigkeiten mit einer nennenswerten Anreicherung des Silbers durch Kupellation

Abb. 24: Experimentelle Versuche zur Rekonstruktion des Kupellationsverfahrens



Chronologie der Grubenbaue in Verbindung zu stehen scheinen. So zeigt sich in den ersten Abbaubetrieben (I - V) ein Buchenanteil von 85 %, der dann (VI - VII) auf 60 % fällt, in den jüngeren Grubenbauen schließlich nur noch 30 % beträgt. Die Eiche hält zunächst nur einen Anteil von weniger als 10 %, erreicht dann 34 % und liegt schließlich bei 42 %. Der Anteil der Kastanie ist immer von Bedeutung, steigt aber gerade in der letzten Phase von durchschnittlich 6 % auf 22 %. Diese Veränderungen sind sicher auf die Holzentnahme im Zusammenhang mit dem Feuersetzen zurückzuführen. So bevorzugte man zunächst Buchen, nutzte dann aber auch zunehmend Eichen, da die Buchenbestände sich nicht mehr ausreichend regenerieren konnten. Zum Ende des Bergbaus dürften zwar immer noch Buchenbestände als Brennmaterial zur Verfügung gestanden haben, jedoch in wesentlich geringerem Umfang als zu Beginn der Abbautätigkeiten. Die verstärkte Verwendung von Eichenholz konnte den Mangel an Buchen nicht vollständig ausgleichen; diese Lücke wurde schließlich durch Kastanienholz geschlossen. In den benachbarten Wäldern wird es demnach zu einer fortschreitenden Abnahme der erwähnten Holzarten gekommen sein.

Die Holzartenbestimmung beschränkte sich bislang auf einzelne Fundstellen im Bereich der Lagerstätte. Dieser Rahmen ließe sich erweitern, doch bedarf es auch neuer Erkenntnisse zur Holzversorgung mittelalterlicher Siedlungen. Dadurch erst wäre es möglich, nicht nur die Frage der Entwaldung neu zu diskutieren, sondern auch dem Problem der wirtschaftlichen Bedeutung der Holzversorgung für die Siedlungen im Umfeld von Melle nachzugehen. Wenn auch beim gegenwärtigen Kenntnisstand der Einfluss des Bergbaus auf den Wald nicht zu quantifizieren ist, so bleibt er doch evident.

Offensichtlich wurde die Umwelt auch erheblich durch die metallurgischen Prozesse belastet. So erbrachte eine bodenkundliche Untersuchung des Hüttenplatzes von Triangle den Nachweis einer Bleikontamination auf einer Fläche von annähernd vier Hektar. Das Schwermetall findet sich im Boden stellenweise in einer Konzentration von bis zu 67 g je

kg Erdreich, wobei zurzeit der europäische Grenzwert bei 100 mg liegt! Die stärksten Konzentrationen finden sich am Hangfuß, hier im Bereich der Schlackenaufbereitung, aber selbst höher gelegene Bereiche, in denen kaum metallurgische Arbeiten nachgewiesen werden konnten, zeigen erhebliche Bleiwerte¹³. So stehen wir einer Belastung des Bodens gegenüber, die zum einen auf die Verwitterung der unterschiedlichen Bleiverbindungen zurückzuführen ist, zum anderen aber auch durch die Ansammlung dieser Produktionsabfälle am Hangfuß noch verstärkt wird.

Das Blei hat sich aber eindeutig auch oberhalb des Hüttenplatzes niedergeschlagen, wie die Analyse eines Teils des Erdreichs zeigt, und dies in einem Gelände, für das weder magnetische Prospektion noch einfache Feldbegehungen Hinweise auf metallurgische Aktivitäten geliefert hatten. Es ist daher anzunehmen, dass diese eindeutig überhöhten Werte nicht auf Auswaschung und Verwitterung zurückzuführen sind, sondern durch Windfracht, also durch den bleihaltigen Rauch der mittelalterlichen Schmelzöfen, entstanden sind. Mehr als 1000 Jahre nach dem Ende der Silbergewinnung finden sich noch heute große Mengen Schwermetall im Boden, und man kann sich leicht vorstellen, dass bereits im Mittelalter entsprechende Schäden bemerkt und kritisiert wurden, wenn auch aus heutiger Sicht die Auswirkungen auf Pflanzen und Menschen nur schwer abzuschätzen sind. Auf jeden Fall kann man festhalten, dass die in Melle wiederholt nachgewiesenen Fälle von Bleivergiftungen bei Schafen zweifelsfrei mit der karolingischen Silbergewinnung in Verbindung stehen.

Ausblick

Bei der Betrachtung des Kartenbildes der Bergbau- und Hüttenplätze von Melle geben sich zahlreiche Lücken deutlich zu erkennen. Wenn auch die wichtigsten Reviere lokalisiert werden konnten, so steht die Untersuchung der weniger bedeutenden und daher unauffälligeren Zonen noch aus. Zudem stehen Anzahl und Verbreitung der Erzaufbereitungs- und Hüttenplätze in keinem

Verhältnis zur Bedeutung und Verteilung der unterschiedlichen Gruben. Für das Stadtgebiet von Melle lässt sich dieses Problem nicht mehr lösen, da der Ausdehnung der Stadt – neben den Münzprägestätten – auch zahlreiche Befunde des Berg- und Hüttenwesens zum Opfer fielen. Für den Rest der Lagerstätte führt die moderne Ausdehnung des Ackerbaus zu Lasten der Grünlandwirtschaft eventuell sogar zu einer Erleichterung der Geländeinspektion. Zurzeit verfolgt die Forschung zur karolingischen Silbergewinnung jedoch drei Ziele: Sie widmet sich der Rekonstruktion alter Techniken mit den Methoden der experimentellen Archäologie, sie versucht durch Untersuchung der Produktionsabfälle (Schlacken) archäometallurgische Fragestellungen zu klären sowie schließlich auch Fragen nach den Auswirkungen der Bleigewinnung auf die Umwelt nachzugehen.

Anmerkungen

- 1 Die Zahl der Münzen in Privatbesitz kann natürlich nicht überblickt werden. Eine einfache Internet-Recherche zeigt aber, dass die karolingischen Obolen und Denare von Melle immer wieder zum Kauf angeboten werden. Die Zahl der Stücke in öffentlichen Sammlungen basiert auf den Angaben bei Depeyrot 1993.
- 2 Zur älteren Forschung vgl. Rondier 1870; Beauchet-Filleau 1890 und Sauvaget 1907; Zur Bedeutung von Melle vgl. auch Bailly-Maître/Benoit 1998.
- 3 Vgl. dazu Téreygeol 1998; ders. 1999a; ders. 1999b; ders. 2000a-d; Téreygeol/Happ 1999; Téreygeol/Le Jeune 1999 und Téreygeol/Marconnet 1998.
- 4 Die Grubenräume wurden bereits 1955 vom Bureau de Recherche Géologique et Minière kurz untersucht. Zur Lagerstätte vgl. Coiteux 1982.
- 5 Die Datierung der Holzkohleproben erfolgte im Zentrum für Radiokarbondatierungen der Universität Claude Bernard - Lyon I (Ly) und im Labor ARCHAEOLABS (ARC).
- 6 Zum Kapitular von Pitres vgl. Krusch 1893, S. 315 und kommentierend Lafaurie 1981. Zur Lebensbeschreibung des Königs Dagobert I. und zur zweijährigen Lieferung von 8000 Pfund Blei an das Kloster von Saint-Denis vgl. Krusch 1888, S. 396-425.
- 7 Zum Verhältnis Erz und Metall vgl. Barandon/Dumas 1990 und Dumas/Barandon 1993. Melle gehörte bis zum 10. Jahrhundert zum Pagus von Brioux. Details zu den entsprechenden Münzen finden sich bei Prou 1892, S. 472 ff., Nr. 2295-2301.
- 8 Ebd., S. 482 f., Nr. 2346-2353.

- 9 Laut Gutachten von J. Lafaurie handelt es sich bei einer in Privatbesitz in Melle befindlichen Münze um einen merowingischen Brakteaten der Zeit um 480-520.
- 10 Weisgerber/Willies 2001.
- 11 Vgl. Fourteau-Bardaji 1993.
- 12 Téreageol/Dubois 2000.
- 13 Holzl/Horn/Téreageol/Wachsmann 2000.

Bibliographie

- BAILLY-MAÎTRE, Marie-Christine/BENOIT, Paul:
1998 Les mines d'argent de la France médiévale, in: L'argent au Moyen Age. XXVIIIe Congrès de la Société des Historiens Médiévistes de l'Enseignement Supérieur Public (Clermont-Ferrand, 30 mai-1er juin 1997), Paris 1998, S. 17-46.
- BARRANDON, Jean-Noël/ DUMAS, F.:
1990 Minerai de Melle et monnaies durant le haut Moyen ge: les relations établies grâce aux isotopes du plomb, in: Bulletin de la Société Française de Numismatique 8, 1990, S. 901-907.
- BEAUCHET-FILLEAU, H.:
1890 Notes diverses pour servir à l'Histoire de la ville de Melle, Melle 1890.
- BOUNIOT, A.:
1979 Le site gallo-romain de Champ Persé, à Melle, in: Bulletin de la Société Historique et Scientifique des Deux-Sèvres, 2. Ser., 12, Nr. 1, 1979, S. 21-32.
- COITEUX, Sylvie:
1982 Le metallotecte de Melle (Deux-Sèvres) contexte sédimentaire et minéralisation, Diss. Univ. Poitiers 1982.
- DEPEYROT, Georges:
1993 Le numéraire carolingien. Corpus des monnaies, Paris 1993.
- DUMAS, F./BARRANDON, Jean-Noël:
1993 Sur les traces de l'argent de Melle à l'époque carolingienne, in: Bulletin de la Société des Antiquaires de France 1993, S. 187-189.
- FOURTEAU-BARDAJI, A.-M.:
1993 Un atelier carolingien d'enrichissement du plomb argentifère. Le site des Boulitotes à Melle, in: Bulletin de la Société Historique et Scientifique des Deux-Sèvres, 3. Ser., 1, Nr. 2, 1993, S. 443-458.
- HOLZL, S./HORN, P./TÉREYGEOL, F./WACHSMANN, M.:
2000 1400 Jahre anthropogenes karolingisches Blei in Böden und Grundwasser nahe der Blei/Silber-Lagerstätte von Melle, Deux Sèvres, Frankreich, in: Actes du colloque de Berlin du 1 au 4 mars 2000 (im Druck).
- KRUSCH, Bruno:
1888 Monumenta Germaniae Historica. Scriptores rerum merovingicarum, Bd. 2: Fredegarii et aliorum Chronica, Hannover 1888.
- 1893 Monumenta Germaniae Historica, Sektion II: Capitularia Regum Francorum, Bd. 2, Teil 2, Hannover 1893.

- LAFaurie, J.:
1981 L'article XI de l'édit de Pîtres du 25 Juin 864, in: Lagom. Festschrift für Peter Berghaus, Münster 1981, S. 113-117.
- PROU, Maurice:
1892 Catalogue des monnaies françaises de la Bibliothèque Nationale. Les monnaies mérovingiennes, Bd. II, Paris 1892 (Neuaufgabe Graz 1996).
- RONDIER, F. R.:
1870 Historique des mines de Melle, Melle 1870.
- SAUVAGET, H.:
1907 De l'exploitation des mines de Melle, in: Bulletin de la Société Historique et Scientifique des Deux-Sèvres, 1907, S. 49-62.
- TÉREYGEOL, Florian:
1998 Les mines de Melle (Deux-Sèvres): une expérimentation d'attaque au feu, in: L'innovation technique au Moyen Age. Actes du Congrès de la Société d'Archéologie Médiévale, Dijon 1998, S. 111 ff.
- 1999a Les mines d'argent carolingiennes de Melle, Melle 1999.
- 1999b Montée en température et nature des roches, expérimentations d'abattage au feu, in: Actes des XXe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes (im Druck).
- 2000a L'exploitation minière de Melle, organisation et datation d'un réseau carolingien, in: Actes du colloque sur „Les Mines en Europe du Moyen Age au XXe siècle“ (im Druck).
- 2000b L'abattage au feu: étude des variations de température et de la nature des roches lors d'une attaque au feu, in: P. Pétrequin/P. Fluzin/J. Thiriot/P. Benoit (Eds.): Arts et feu et productions artisanales. Actes des XXe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Antibes 2000, S. 531-544.
- 2000c Mode de production du plomb et de l'argent à Melle durant la période carolingienne, in: Bulletin de la Société Française de Numismatique 55, Nr. 6, 2000, S. 107-115 (Paris).
- 2000d Les mines d'argent carolingiennes de Melle: état de la question, in: Les cahiers numismatiques 37, Nr. 144, 2000, S. 27-44 (Paris).
- TÉREYGEOL, Florian/DUBOIS, Claude:
2000 Mines et métallurgie carolingiennes à Melle (Deux-Sèvres, France): l'apport des charbons de bois archéologiques, in: Second colloque international d'anthracologie, tenu, Paris 2000.
- TÉREYGEOL, Florian/HAPP, Jacques:
1999 La production de l'argent à Melle. Du minéral au métal: approche expérimentale, in: P. Pétrequin/P. Fluzin/J. Thiriot/P. Benoit (Eds.): Arts et feu et productions artisanales. Actes des XXe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Antibes 2000, S. 189-204.
- TÉREYGEOL, Florian/LE JEUNE, Y.:
1999 La fonderie carolingienne du Triangle: un cas de pollution au plomb, in: Actes du Congrès sur la Pollution au Moyen Age tenu à Liessies en 1999 (im Druck).

- TÉREYGEOL, Florian/MARCONNET, Christoph:
1998 L'étude pluridisciplinaire d'un réseau minier carolingien, in: Le Bulletin de la Société Historique et Scientifique des Deux-Sèvres, 1998 (im Druck).
- WEISGERBER, Gerd/WILLIES, Lynn:
2001 The Use of Fire in Prehistoric and Ancient Mining: Firesetting, in: Paléorient, 26/2, 2001, S. 131-149, Taf. IX-XII.

Aktuelle Informationen zum Besuch des Museums „Les Mines d'Argent des Rois France“ in Melle und zur Besichtigung einer Grube finden sich im Internet unter <http://www.mellecom.fr/mines>.

Anschrift des Verfassers:

Florian Téreageol
25 rue Jean Le Galleu
F-94200 Ivry-sur-Seine
Frankreich
tereygeol.florian@wanadoo.fr

Aus dem Französischen übersetzt von
Christoph Roden, Ravensburg