

Artefaktgruppen einzelnen Lagerstätten zuzuordnen. Dazu bedarf es einer größeren Anzahl chemisch charakterisierter Lagerstätten. Aber schon jetzt kann festgestellt werden, daß in den Ostalpen alle Erztypen vorhanden sind - einschließlich nickelreicher Kupfererze -, die zur Produktion der verschiedenen Metallsorten, aus denen die Ösenhalsringe hergestellt wurden, notwendig waren. Dies steht im Gegensatz zu der Behauptung von Otto u. Witter (1952), daß solche Erze nur im Saalfelder Revier in Thüringen vorkämen. Pittioni ging dagegen davon aus, daß die Fahlerze der ostalpinen Lagerstätten erst ab der späten Bronzezeit verhüttet werden konnten, und zog deshalb diese als Ausgangsmaterial für das Ösenhalsringmetall nicht in Betracht. Es ist unser Ziel, auch Erze aus der Slowakei, der von Pittioni vermuteten Herkunftsregion des »Ösenhalsringkupfers«, in die Untersuchung einzubeziehen. Wenn es gelänge, aufgrund der Spurenelementzusammensetzung eine von beiden Regionen als Herkunftsgebiet auszuschließen, wäre dies ein großer Schritt zur Aufklärung der Herkunft des frühbronzezeitlichen Kupfers in Mitteleuropa.

ALBRECHT JOCKENHÖVEL · GÜNTER WOLF

## PALÄOMETALLURGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR BRONZE- UND EISENZEIT IM GEBIET ZWISCHEN MOSEL UND WERRA\*

Im Mittelpunkt der Erforschung bronze- und urnenfelderzeitlicher Quellen- und Fundgruppen stehen zumeist ihre metallenen Gegenstände. Ihre Auswertung erfolgt nach langgewachsenen, fachspezifischen und fachtraditionellen Methoden. Auch die vielerorts bevorzugte Sammlung und Darstellung großer Ansammlungen von Metallgegenständen, wie Depot- bzw. Hortfunden und sonstigen Deponierungen (wie Flußfunde), wird z. B. in der süddeutschen Forschung fast ausschließlich vom Vorgehen bestimmt, die Gründe ihrer Verbergung usw. mit ereignisgeschichtlichen oder kultisch-religiösen Motiven zu erklären. Eine Auswertung der Metallfunde unter wirtschaftsgeschichtlichen Aspekten ist bisher nur in Ansätzen erkennbar (z. B. für England: Rowlands 1976). Hierbei kommt der Erforschung der Struktur und Organisation des Metallhandwerks eine besondere Bedeutung zu. Wie andernorts (Jockenhövel 1986) für den Bereich von Siedlungen detaillierter ausgeführt, basiert die Organisation des bronzezeitlichen Metallhandwerks auf einem weitgehend einheitlichen Fertigungsablauf. Dieser kann in fünf Hauptbereiche gegliedert werden:

1. Aufbereitung der Erze und Metalle
2. Gußvorgang und Fertigung
3. Weiterverarbeitung in Form vielfältiger Techniken
4. Gebrauchsdauer mit für den Metallumlauf entscheidendem Endstadium
5. Recycling von Metall

\* Aktualisierte Fassung von Beiträgen zu Tagungen in Glogau 1984 (Jockenhövel/Wolf) und Triest (dies. 1986). – Wir danken den Verantwortlichen folgender Museen und Sammlungen für die großzügige Erlaubnis, Proben für die Analysen entnehmen zu dürfen: Butzbach, Wetzlar, Kassel, Frankfurt, Saalburg, Hanau, Mainz, Worms, Speyer, Mannheim, Weinheim, Karlsruhe. – Die Proben wurden

von Herrn Jürgen Möscher, Betriebsleiter am Institut für Kernphysik der Johann Wolfgang Goethe-Universität entnommen, für dessen intensive Mitarbeit und Sorgfalt wir sehr herzlich danken. Sein allzu früher Tod hat uns sehr getroffen. Deshalb sei dieser Vorbericht seinem Andenken gewidmet.

Grundvoraussetzung der Produktion ist die Sicherstellung des Bezuges von Rohstoffen, hier Kupfer und Metalle zur Erzeugung von Legierungen (wie Arsen, Zinn, Blei, Antimon). Da diese nicht überall erreichbar, ja viele Regionen gänzlich auf Importe angewiesen waren, entstand mit Beginn von intentionellen Kupferlegierungen (Arsen-Kupfer, Zinn-Kupfer) ein interregionales Tauschnetz für diese Rohstoffe, in das jede Region Europas einbezogen war. Die tausendjährige Dauer der Bronzezeit legt Zeugnis ab für ein stabiles Netzwerk (»network«) lokaler, inter- und supraregionaler Beziehungen wirtschaftlicher und kommunikativer Art, das einige Erschütterungen und Engpässe, vor allem gegen Ende der Bronzezeit, zu überwinden vermochte und erst allmählich und partiell durch neue Systeme abgelöst wurde, die sich aus der Verwendung des – überall verfügbaren – Rohstoffs Eisen ergaben.

Daher sind besonders zunächst solche Forschungen von Bedeutung, die den Lagerstätten von Kupfer usw. auf die Spur kommen wollen. Hier wurden insbesondere von österreichischer Seite in der alpinen Region (beispielhaft immer noch das Mitterberg-Revier) erfolgreich montanarchäologische Untersuchungen in die Wege geleitet, die für die Bronze- und Urnenfelderzeit eindeutige, teilweise noch heute sichtbare Spuren eines Altbergbaues nachwiesen (Zschocke u. Preuschen 1932). Dabei konnten überraschende Details und Einblicke in seine Betriebsformen und Organisation gewonnen werden (Eibner 1981). Von der »Wiener Arbeitsgruppe« um R. Pittioni und H. Neuninger wurde zusätzlich ein weiterer Schritt in der Erforschung der Relation Lagerstätte-Fertigprodukt unternommen, indem man dort mit Hilfe halbquantitativer Analysen (Spektralanalysen) lagerstättenspezifische »impurities patterns« erstellte und somit mehrere Reviere unterscheiden konnte (u.a. Pittioni 1976). Ihr Vorgehen wurde erleichtert durch die metallurgische Untersuchung bronzezeitlicher Bergbauspuren (wie Schlacken) und Erzproben heute ausgebeuteter Lagerstätten. Dies ist in vielen anderen Regionen Europas, wie in so traditionellen Kupferrevieren in der Slowakei oder dem Mansfelder Revier in Thüringen, nicht bzw. nicht mehr möglich, denn der sehr intensive und extensive spätmittelalterliche und frühneuzeitliche Bergbau auf Kupfer und auf andere Erze, so wie ihn G. Agricola 1556 als Augenzeuge schilderte, hat offensichtlich alle Spuren eines prähistorischen Altbergbaus zerstört. Deshalb versuchten in Halle W. Witter und H. Otto in den 30er und 40er Jahren unseres Jahrhunderts, mit Hilfe der vollquantitativen Spektralanalyse von Fertigprodukten, aber auch von Gußkuchen usw. die zugehörigen Erzreviere zu ermitteln. Ihre Untersuchung beschränkte sich hauptsächlich auf das mitteldeutsche Gebiet mit seinen reichen Kupferschiefer-Revieren, für die sie als Hauptergebnis ihrer »Leitlegierung«-Analysen eine Nutzung als Rohstoffregion seit dem Endneolithikum postulieren konnten (Otto u. Witter 1952).

Von einer anderen Zielrichtung – Erforschung der Ausbreitung und Entwicklung der Metallurgie – ging das bisher größte Analysenunternehmen im Fachgebiet Vor- und Frühgeschichte aus: Die Stuttgarter Arbeitsgruppe »Studien zu den Anfängen der Metallurgie« (SAM) verzichtete aber dabei von vornherein auf die Untersuchung der Relation Lagerstätte-Fertigprodukt; zudem lag ihr Schwerpunkt in der Kupfer- und frühen Bronzezeit (Junghans et al. 1960; 1968; 1974). Die vielfach geäußerte Kritik an den statistisch gebildeten Materialgruppen des Stuttgarter Unternehmens darf als bekannt vorausgesetzt werden.

Überblickt man die bisherigen Ansätze und die zugehörige Kritik, läßt sich eine gewisse Resignation hinsichtlich der wirtschaftsgeschichtlich bedeutsamen Frage der Rohstoffbeschaffung von Kupfer in der Bronzezeit feststellen. So ist zumindest in Teilen der deutschen Forschung eine gewisse Skepsis gegenüber dem Aussagewert von Analysen eingetreten (vgl. zusammenfassend Härke 1978, 165 ff.). Unabhängig davon sind aber in den Nachbarländern neue Programme aufgelegt und weiterentwickelt worden, die unter dem Oberbegriff »Paläometallurgie« oder »Archäometallurgie« zusammengefaßt werden können. Beispielhaft seien hier französische Arbeiten genannt (Paléoméallurgie 1984). Ihr Ziel ist es, durch möglichst viele Analysen von Metallfunden deren Zusammensetzung festzustellen, um diachron Kontinuität und Wechsel von Elementanteilen, ihre Mischungen, ihre räumliche Verteilung in kulturellen Großregionen usw. metalltechnisch und vor allem wirtschafts- und kulturhistorisch auszuwerten.

Untersuchungen zu »Zuordnung von Kupfer-Metall zum Ausgangserz« (Schulz 1983) und Überlegungen zu »Legierung oder Lagerstätte?« (Eibner 1976) berücksichtigend, wurde 1982 in Frankfurt am Main (Fortsetzung seit 1987 in Verbindung mit der Universität Münster) ein interdisziplinäres Forschungs-

programm entwickelt mit der Zielsetzung, raumzeitlich gebunden an der bisher vernachlässigten »Nahtstelle« von Lagerstätten und Fertigprodukten anzusetzen. Bei dieser »Nahtstelle« handelt es sich um den Bereich der primären Metallurgie. Darunter verstehen wir den Herstellungs- und Weiterverarbeitungsprozeß von Metallgegenständen. Hinweise für die primäre Metallurgie liefern: Schlacken, Gußkuchen, Gußbrocken, Gußabfall, Barren. Von der Analyse dieser Gegenstände ist am ehesten Aufschluß über die Rohstoffzusammensetzung zu erhalten und leichter möglich, von den Elementgruppen ausgehend, gezielt die Lagerstätten (Erzproben) archäologisch und die lokalspezifischen Fertigprodukte zu untersuchen.

Als Untersuchungsraum wurde die deutsche Mittelgebirgszone zwischen Mosel und Werra, als Untersuchungszeitraum die ausgehende Spätbronzezeit, d. h. die späte Urnenfelderzeit (Stufe Ha B3 nach H. Müller-Karpe = 9./8. Jahrhundert v. Chr.) gewählt. Hierfür waren mehrere Gründe ausschlaggebend.

Zum Untersuchungsgebiet: Zwischen Mosel/Saar und Werra gibt es zahlreiche Kupferlagerstätten aus zeitlich verschiedenen geologischen Formationen. Sie sind bisher noch nicht zusammenfassend behandelt bzw. kartiert worden. Alle abbaufähigen Lagerstätten wurden teilweise bis in die Neuzeit hinein ausgebeutet. An wichtigen Lagerstätten seien hier genannt: in Mittel- und Niederrhein (Abb. 1) die Formationen des Zechstein mit dem Kupferschieferflöz (Jockenhövel 1983), in Rheinland-Pfalz das Donnersberg-Massiv (Geis 1955) und das Birkenfelder Revier (Wild 1984), im Saarland das Revier um Wallerfangen (Schindler 1968). Neben diesen »klassischen« Revieren gibt es noch unzählige kleinere Vorkommen, die sicherlich auch für den urzeitlichen Abbau in Frage kamen (vgl. für Süd- und Mittelhessen Köbrich 1936).

Zum Untersuchungszeitraum: Während der ausgehenden Spätbronzezeit konzentrieren sich in diesem Gebiet zahlreiche, z. T. recht umfangreiche Depotfunde (Abb. 2), die mit einem hohen Anteil regional-spezifischer Fertigprodukte ausgestattet sind (Jockenhövel 1981). Gußformen und auch Gußformendepots aus dieser Region belegen eine einheimische Metallurgie. In den Depotfunden sind oftmals Reste der primären Metallurgie enthalten, meist Gußkuchen bzw. Teile von Gußkuchen. Weiter sind in einigen Depotfunden wiedereingeschmolzene Stücke (Recycling) erkennbar, so daß diese Funde auch im Hinblick auf den lokalen Metallumlauf ausgewertet werden können.

Das Untersuchungsgebiet gehörte in der ausgehenden Urnenfelderzeit zum Kreis der »Pfalzbaubronzen«, eine fachkonventionelle Bezeichnung für den spätbronzezeitlichen schweizerischen-südwestdeutschen-ostfranzösischen Formenkreis bronzener Gegenstände. Unabhängig von den Möglichkeiten seiner regionalen Innendifferenzierung (z. B. »Groupe lorrain« an Saar und Mosel) kommt diesem Gebiet besondere Bedeutung zu, denn seine kraftvollen Ausstrahlungen nach Norden (während der Periode V nach O. Montelius) belegen den reichlichen Metallfluß vom Oberrhein über die hessischen Senken nach Thüringen und/oder in das Norddeutsche Tiefland mit Südkandinavien (Thrane 1975). Insofern ist sehr wahrscheinlich, daß auch das Kupfer, sei es in Form von Fertigprodukten, sei es als Rohkupfer (wohl in Form von Gußkuchen), aus unserem Untersuchungsgebiet nach Norden gelangte (Hundt 1978).

Von dieser Deckung – Kupferlagerstätten in einer raumzeitlich, formenkundlich erschlossenen »Provinz« – ausgehend, liegt die Vermutung nahe, daß einheimische Erze genutzt sein könnten. Das Frankfurt-Münsterer Projekt soll Fragen zum vorgeschichtlichen Metallumlauf, zur räumlichen und zeitlichen Festlegung der einheimischen Ressourcen, zur Homogenität des Rohkupfers, letztlich zur Relation Lagerstätte-Fertigprodukt beantworten helfen.

Bisher wurden aus dem Gebiet zwischen Saar/Mosel und Werra aus der nördlichen Mittelgebirgsregion ca. 80 Proben aus späturnenfelderzeitlichen Gegenständen gezogen. Damit ist eine wichtige, jedoch oft vernachlässigte methodische Voraussetzung erfüllt: die Vergleichbarkeit auf einer historischen Ebene in der gleichen Region. Zum Vergleich wurden zusätzlich Proben aus hallstatt- und latènezeitlichen Objekten genommen. Als Hauptanalyse wurde die Neutronenaktivierungsanalyse (INNA) gewählt. Die Bestimmung der Bleigehalte steht noch aus, ebenso die der Bleiisotope, die grundlegend Aufschluß gibt über den »Fingerabdruck« einer Lagerstätte. Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung des Bleigehaltes, auch der Fertigprodukte, sind deshalb notwendig, um zu prüfen, ob auch in unserer Region gegen



Abb. 1 Kupferlagerstätten in Hessen (vorläufiger Kartenentwurf). Stern: Oberflächennahe Vorkommen. – M = 1:1200000.

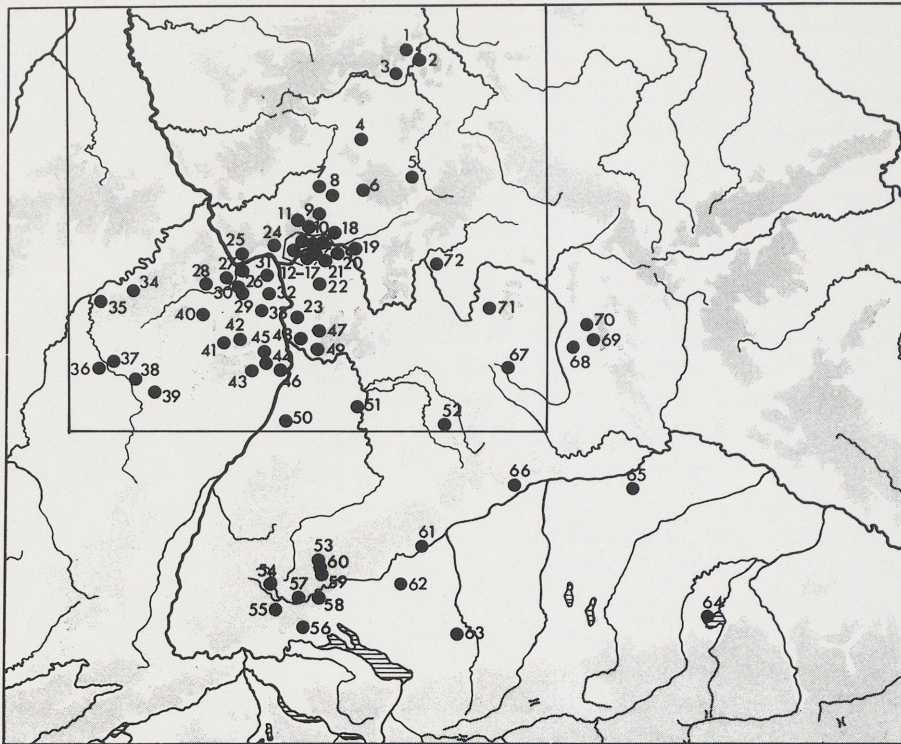


Abb. 2 Verbreitung der späturnenfelderzeitlichen Depotfunde in Süddeutschland. Umrandet ist das Untersuchungsgebiet. Untersucht wurden bisher Gegenstände der primären Metallurgie aus den Funden: Nr. 3 Gudensberg. – 8 Rockenberg. – 10 Bad Homburg v.d.H. – 11 Bleibeskopf. – 12 Frankfurt/M.-Niederursel. – 16 Frankfurt/M.-Niederrad. – 18 Hochstadt. – 33 Haugen-Weisheim. – 43 Maikammer. – 46 »Speyer«. – 47 Weinheim-Nächstenbach. – 48 Mannheim-Wallstadt. – 49 Dossenheim. – Dazu außerhalb des Untersuchungsgebietes Nr. 55 Unadingen (nach A. Jockenhövel 1975, Abb. 17).

Ende der Bronzezeit der Bleianteil in den Legierungen zu Lasten des Zinnanteils steigt. Hier klingen Fragen der Distribution, der Verknappung einzelner Legierungsrohstoffe, ihr gegenseitiger Ersatz (z. B. Zinn durch Blei oder Zinn durch Antimon) u. a. an.

Eine vergleichbare raumzeitlich gebundene und zunächst nur metalltechnisch aufschlußreiche Gegenstände umfassende Untersuchung ist bisher in unserem Gebiet nicht vorhanden. Insbesondere wird die Analyse der Gußkuchen Aufschluß geben zu der in der Bronzezeitforschung noch weitgehend ungelösten Frage, in welchem Umfang vor allem gegen Ende der Bronzezeit noch immer Rohkupfer dem Metallumlauf zugeführt wurde und in welchen Mengen Altmetall (Bronzeschrott) weiter- bzw. wiederverwendet wurde. Es wird ja oft die Meinung vertreten, daß der Metallumlauf während der Bronzezeit zunehmend aus dem Umlauf heraus gedeckt wurde und gerade gegen Ende der Bronzezeit nur noch wenig frisches, unlegiertes Kupfer hinzukam. Dabei darf aber nicht übersehen werden, daß u. a. durch kultisch-religiöse Vorstellungen große Metallmengen dem Umlauf entzogen wurden (Grabbeigaben, Deponierungen usw.) und kontinuierlich ersetzt werden mußten.

Ein erstes Ergebnis unserer Untersuchungen ist, daß im Endabschnitt der Bronzezeit noch in erheblichen Mengen Rohkupfer in Form von Gußkuchen erstmals in Umlauf kam. Sie sind stets zerstückelt in den Depotfunden enthalten. Die legierten Gußkuchen sind dagegen vollständig und von rundlicher bis ovaler, kleiner fladenförmiger Gestalt; manche zeigen einen mehrfachen Aufbau, sind also aus mehreren Übergießungen entstanden. Ein Stück aus dem späturnenfelderzeitlichen Depotfund von Bad Homburg (Herrmann 1966, Taf. 186, 16) läßt als Bestandteil sogar noch ein zerschmolzenes Blech erkennen (vgl. zu diesem »vorgeschmolzenen« Bronze-Altmaterial: Mozsolics 1981).

Ein frühzeitlicher Bergbau auf Kupfer ist im Untersuchungsgebiet und seinen engsten benachbarten

Regionen (wie dem Harz) urkundlich und/oder montanarchäologisch erst ab 1000, verstärkt aber erst im 15./16. Jahrhundert nachgewiesen. Dies gilt besonders für das hessisch-thüringische Gebiet. Ein eigentlicher prähistorischer Bergbau ist noch nicht an Spuren seines Betriebes (Abbauformen, Arbeitsgerät, Scheideplätze, Verhüttung mit Schlackenplätzen usw.) erkannt worden. Hier mußte man sich bisher auf Mutmaßungen beschränken, deren Wahrscheinlichkeitsgrad mit der jeweiligen archäologischen Besiedlungsgeschichte, der Intensität, Konzentration und dem Fundbildcharakter verbunden wurde. Teilweise werden hierzu wiederum Metallanalysen herangezogen. Solche Beobachtungen führten zur gut begründeten Annahme, daß z. B. in Ostthüringen seit Ende der mittleren Bronzezeit kleine Bergbau- und zugehörige Metallverarbeitungswerkstätten von teilweise weiterreichender Bedeutung existierten (Simon 1982). Aufgrund von Hortfundkonzentrationen um bronzezeitliche Befestigungen in Bergbauregionen wurde von O. Kytlicová (1982) für das Gebiet um Příbram ebenfalls ein spätbronzezeitlicher Bergbau angenommen.

Im westlichen Teil unseres Untersuchungsgebietes ist es bisher an zwei (Conrad 1968) bzw. drei Stellen gelungen, römischen Bergbau auf Buntmetalle nachzuweisen. Durch Inschriften eindeutig belegt sind der MARCUS-Stollen bei Kordel-Butzweiler, Südwesteifel, und der EMILIANUS-Stollen bei Wallerfangen (Schindler 1968), Saarland. An beiden Stellen ist man in römischer Zeit offenbar beim Brechen von Buntsandstein (Steinbrüche) auf Kupferadern gestoßen. Die »Pützlöcher« bei Kordel-Butzweiler (Abb. 3) sind nur in ihrem vorderen Teil antik. Neben dem Stollenmundloch befanden sich zwei Inschriften mit dem Namen MARCI (heute ist nur noch eine erhalten). Dieser Name taucht mehrmals auf Steinquadern der Porta Nigra in Trier auf. Der römische Stollen ist etwa 15 m lang und verzweigt sich. Von ihm gehen senkrecht nach unten und nach oben zur Oberfläche sechs Schächte ab. Neben der Inschrift datieren noch römische Scherben und Dachziegelfragmente. In jüngerer Zeit (18. Jahrhundert) wurde der antike Stollen erweitert.

Eine römische Inschrift (CIL XIII, 4238: INCEPTA OFFICINA EMILIANI NONIS MART) führte zur Erforschung des Emilianus-Stollens von St. Barbara bei Wallerfangen, Saarland (Abb. 4) durch R. Schindler 1964-1965. Es handelt sich um eine zweietagige Stollenanlage. Der untere Stollen, durch einen Schacht mit dem oberen verbunden, ist als Suchstollen anzusprechen. Auf kupferführende Schichten im Voltzien-Sandstein stieß man im oberen Stollen, dessen Ende jedoch nicht erreicht wurde. Seitentrieb, zutage führender Schacht, eine Wasserrinne zur Wasserlösung sind bemerkenswert. Zahlreiche römische Kleinfunde und auch Reste des Arbeitsgerätes (Fördertrog, Holzeimer) lassen keinen Zweifel an einem römischen Ursprung dieses aufwendig ausgeführten Bergwerkes.

Das dritte Fundgebiet römischen Kupferbergbaues befindet sich in der östlichen Rheinpfalz, in der näheren Umgebung des Donnersbergmassivs, einer porphyren Bergregion, gekrönt von dem keltischen Oppidum. Bei Dannenfels, am Südwestabhang des »Gebrannten Berges«, bei Göllheim, im »Bangert« und im Imsbach, »Aia«-Schächte wird römischer Pingenabbau mit guten Gründen vermutet bzw. ist nachgewiesen (Walling 1977).

Sicherlich gehört der römische Bergbau mit seinen ausgefeilten Ingenieurleistungen einem anderen technischen Stand an, so daß er nicht vergleichbar sein kann mit den urzeitlichen, einheimischen Methoden. Wichtig ist aber, daß auch er an solchen Stellen ansetzte, wo Oberflächen- bzw. oberflächennahe Lagerstätten zu finden sind. Sie zu erkennen, war auch der prähistorische Prospektor in der Lage. Austretende Erzführung, Farbveränderungen an der Oberfläche, eigenartiger Bewuchs (Zeigerpflanzen), natürliche Veränderungen (z. B. frühe Schneeschmelze auf den erzführenden Schichten), alle diese Anzeichen befähigten ihn, Lagerstätten zu finden und mit seinen Methoden auszunützen. Wenn auch bisher noch kein vorgeschichtlicher Bergbau in seinen Abbauspuren nachgewiesen werden konnte, so wurde gerade durch die Untersuchung von R. Schindler (1968) und H. Conrad im Wallerfanger Gebiet wahrscheinlich gemacht, daß bereits gegen Ende der Bronzezeit Wallerfanger Kupferlasur (Azurit) gewonnen und geschmolzen wurde. R. Schindler ging von einer wirtschafts- und sozialgeschichtlichen Interpretation spätbronzezeitlicher Depotfunde, hallstattzeitlichen Grabfunden und einer gleichzeitigen Abschnittsbefestigung, der sog. »Fliehbürg« auf dem Limberg (Abb. 5), aus und wertete sie als Anzeichen eines »Wallerfanger« Dynastengeschlechts. Er brachte diese ungewöhnliche Konzentration am Ort und seine

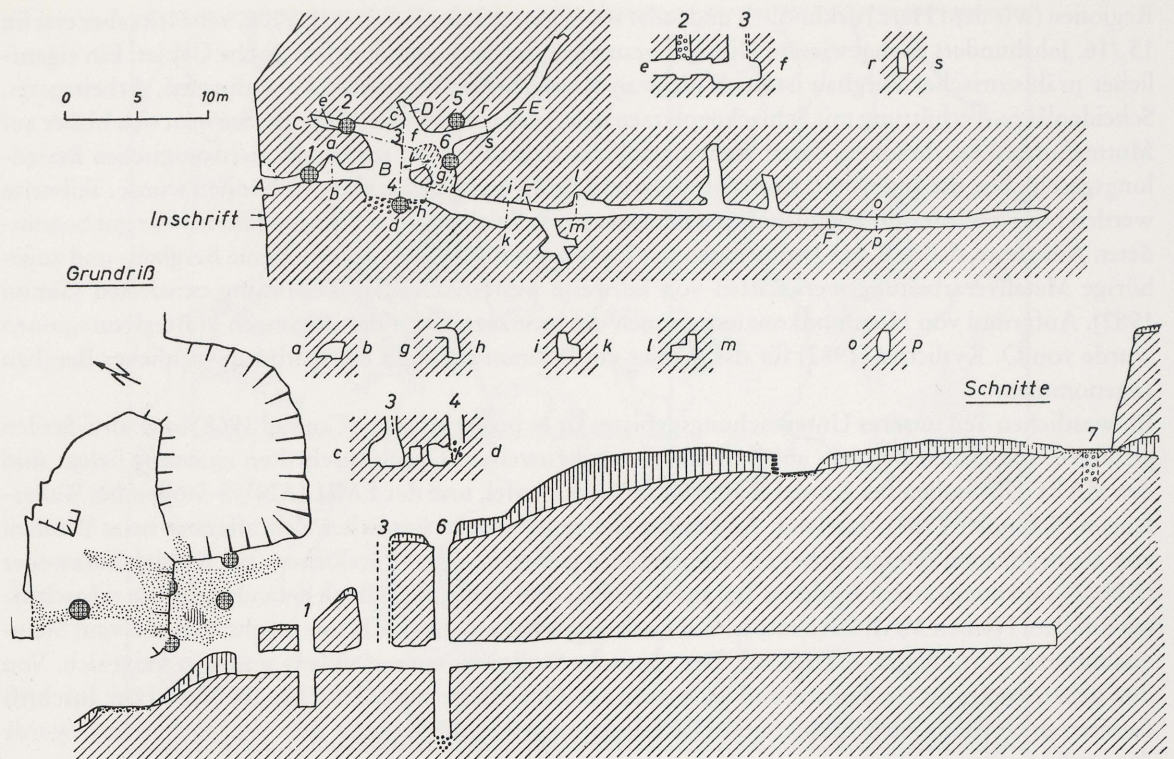


Abb. 3 Grundriß und Aufriß des römisch begonnenen und im 18. Jahrhundert erweiterten Kupferstollens bei Kordel-Butzweiler, Kr. Trier-Saarburg (nach R. Schindler).

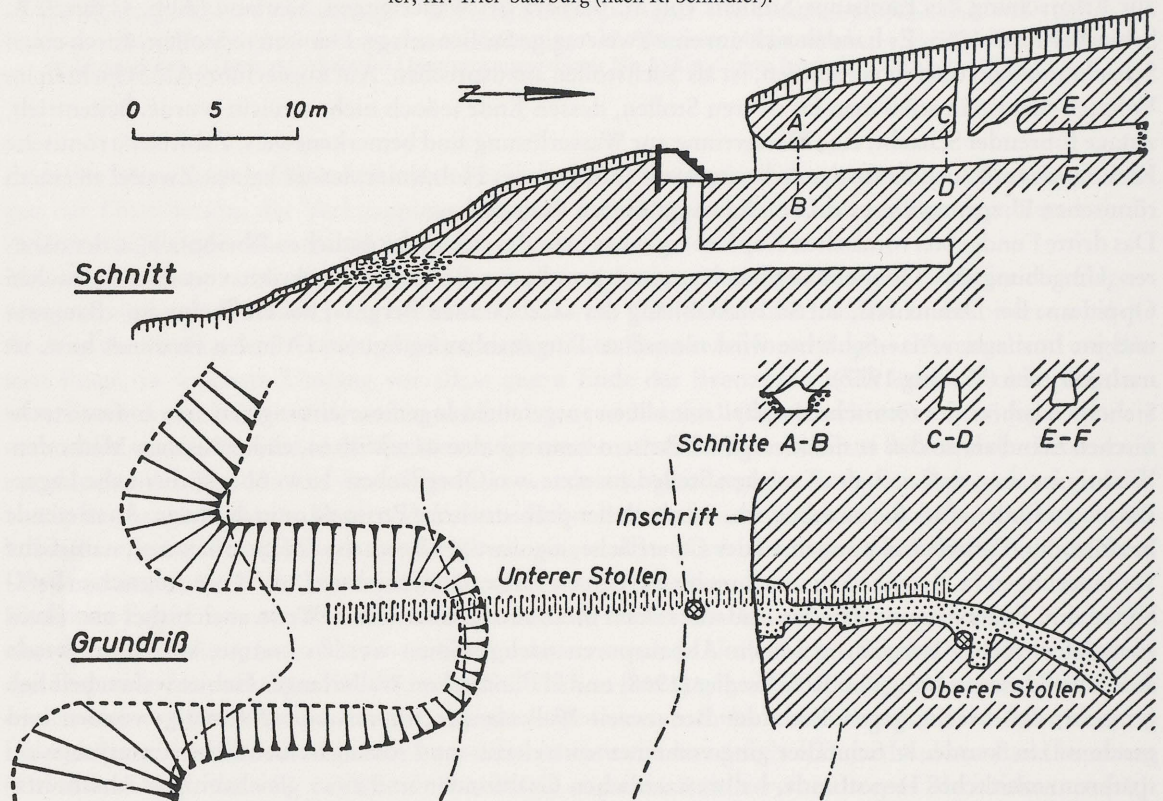


Abb. 4 Grundriß und Aufriß des römischen Emilianusstollens bei St. Barbara, Gem. Wallerfangen, Kr. Saarlouis (nach R. Schindler).

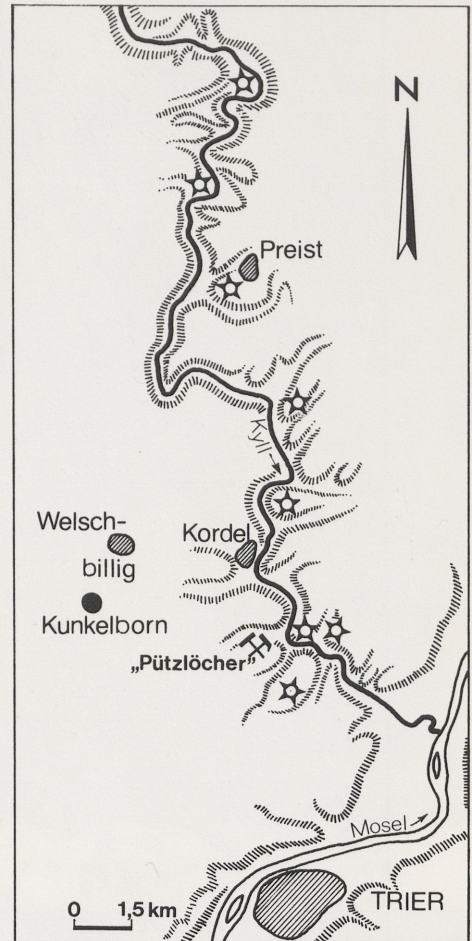
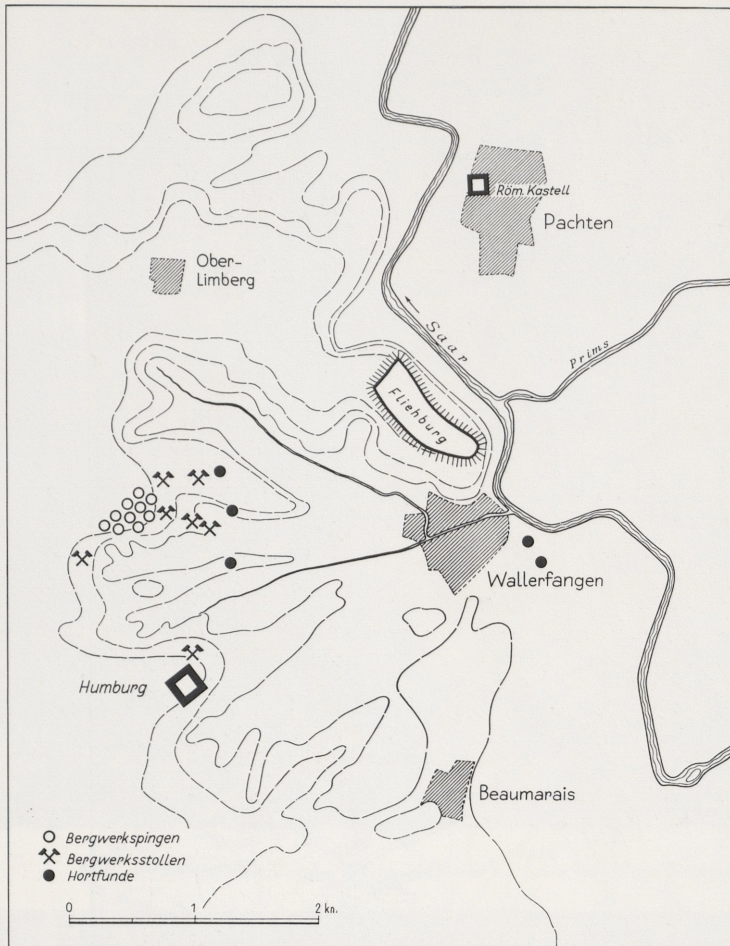


Abb. 5-6 5 Karte der römischen und neuzeitlichen Kupferstollen oder -pingen bei Wallerfangen, Kr. Saarlouis (nach R. Schindler).  
 – 6 Vor- und frühgeschichtliche Befestigungen am Unterlauf der Kyll mit römischen Kupferstollen »Pützlöchern« und urnenfelderzeitlicher Siedlung Welschbillig-»Kunkelborn«, Kr. Trier-Saarburg.

innere Struktur mit den Lagerstätten ursächlich in Verbindung. H. Conrad nutzte Analysen von Wallerfangen-Erzbrocken und von einem Ha B3-zeitlichen Tintinnabulum, um den lokalen Weg Lagerstätte-Fertigprodukt nachzuweisen. Als eine Art Leitelement galt für die durchgeführten Analysen ihr Kobalt-Nickel-Gehalt, der in vergleichbaren Anteilen sowohl im Erz als auch im daraus gefertigten Fertigprodukt enthalten ist (Conrad in: Schindler 1968).

Unweit des römischen Stollens bei Kordel-Butzweiler wurde unlängst in 6 km Entfernung, westlich bei Welschbillig-»Kunkelborn«, eine mittelurnenfelderzeitliche Siedlung (Abb. 6) angeschnitten (Löhr 1984), die auch Reste eines örtlichen Metallgewerbes erbrachte. Wichtig ist vor allem der Rest eines Rohkupfer-Gußkuchens. Auch hier bedarf es jetzt einer vergleichenden Analyse von Lagerstätte und Gußkuchen.

Dürftig sind noch die archäologischen Befunde auf dem Donnersberg-Massiv und aus seiner Umgebung. Immerhin wird auch hier auf dem Berg selbst eine urnenfelderzeitliche Anlage (Schlackenwall) vermutet, die in ihrem Charakter den übrigen süddeutschen gleichen kann, die durch örtlich ansässiges Metallhandwerk geprägt sind (Jockenhövel 1984; 1986).

In der niederhessischen Kupferschiefer-Region wurde mittlerweile in Zusammenarbeit mit Dr. J. Kulick (Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden) eine Prospektion auf für den Altbergbau ver-



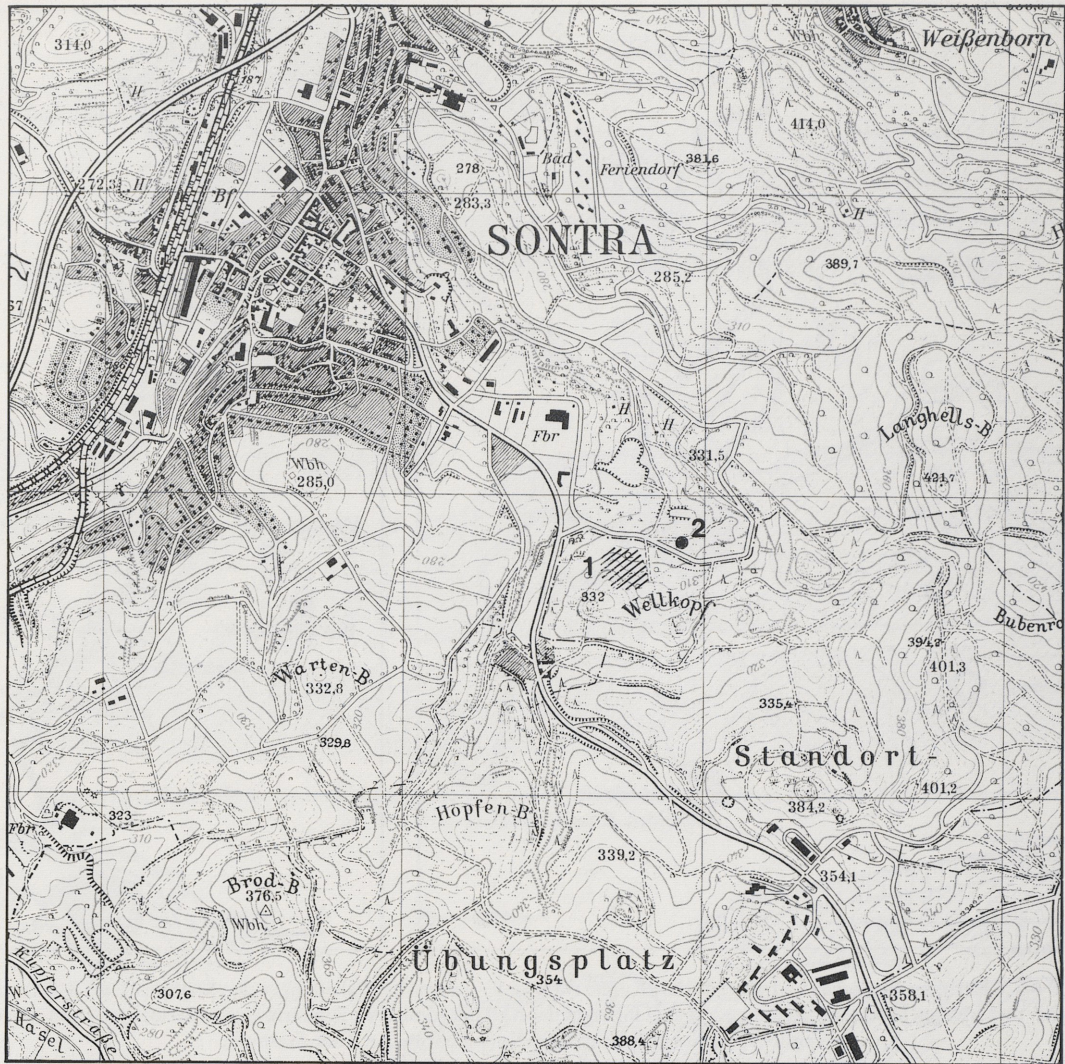


Abb. 7 Topographische Lage des Schachtfeldes Sontra-Wellkopf«, Werra-Meißner-Kr. (1) und des Ackers mit Schlackenspuren (2). Ausschnitt aus TK 1:25000 Blatt 4925 Sontra; mit Genehmigung des Hessischen Landesvermessungsamtes vom 12.4.1990, Verw.-Nr. 90-1-154.

dächtigen Plätzen begonnen. Da die »klassischen« Abbaustätten bei Iba und Nentershausen im Richelsdorfer Gebirge bis in die Neuzeit hinein betrieben wurden, scheidet diese Region zunächst wegen der verwischenden Überprägung aus. Als vielversprechender Platz gab sich dagegen ein größeres Abbaufeld bei Sontra, Werra-Meißner-Kreis, zu erkennen. Ca. 1,5 km südöstlich der Ortsmitte dieser alten Bergbaustadt liegt am Rande des heutigen Truppenübungsplatzes Lindenau die Waldkuppe »Wellkopf« (H. 332m über NN) (Abb. 7). Am Nordhang dieser mit einem lichten Buchenstockausschlag bestandenen Erhebung zieht sich zu einem asphaltierten Wirtschaftsweg auf einer Fläche von ca. 1,5 ha ein umfangreiches Schachtfeld hin, das aus über 100 dicht bei dicht aufgeschlagenen Schächten besteht (Abb. 8; 9). Die Schächte liegen so dicht beieinander, daß sie unmöglich im Stollenbergbau betrieben werden konnten. Auf Veranlassung von J. Kulick wurde ein Schacht mit einem Bagger teilweise ausgeräumt und in seinem oberen Bereich geschnitten. Überraschenderweise gehen die Schächte zunächst durch eine Lössschicht und treffen dann auf den Zechstein, an dessen Basis sich Kupferschiefer befindet (Abb. 10). Daher besteht bei künftigen Grabungen die große Chance, in der Lössregion noch Befunde von Ein- und Auf-



Abb. 8 Sontra-»Wellkopf«, Werra-Meißner-Kr. Schachtfeld am Nordhang (Ausschnitt) (Foto A. Jockenhövel 3.4.1985).



Abb. 9 Sontra-»Wellkopf«, Werra-Meißner-Kr. Blick auf einen größeren Schacht (Foto A. Jockenhövel 3.4.1985).

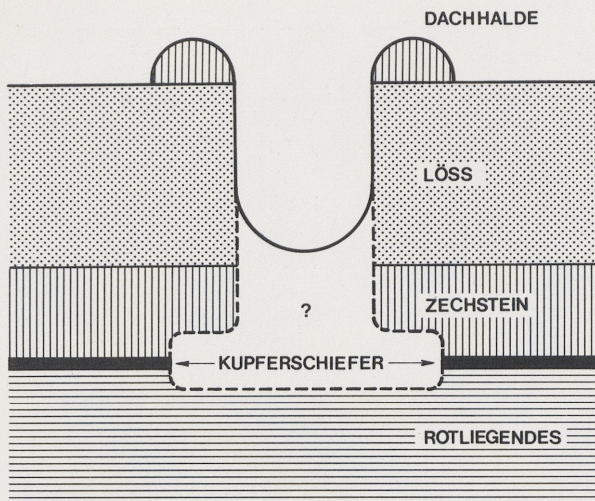


Abb. 10 Schematischer Schnitt durch einen Schacht bei Sontra-»Wellkopf«, Werra-Meißner-Kr. (Entwurf A. Jockenhövel).

bauten der Schächte zu erhalten. Die Dachhalden überschneiden sich bei der dichten Lage der Schächte vielfach. Eine beabsichtigte Vermessung (unter Leitung von Prof. Dr. W. Rumpf, Fachhochschule Frankfurt am Main) wird die horizontale Stratigraphie klären helfen. Die Abbauphase am Sontraer »Wellkopf« ähnelt sehr einem Duckelbau.

In einem unmittelbar angrenzenden Acker wurden Schlackenspuren und Hüttenlehm gefunden, möglicherweise Hinweise auf ein zugehöriges Aufbereitungs- und Verhüttungsgebiet.

Die Lokalforschung hält diese bisher unbeachteten und auf Karten nicht eingetragenen Schächte für die ältesten in der Bergbauregion um Sontra, für die Urkunden erst ab 1460 zur Verfügung stehen. In ihnen ist aber unser Feld nie mehr erwähnt worden (vgl. Strube 1980). Es besteht also die berechtigte Hoffnung, daß dieses eindrucksvolle »Industriebodendenkmal« älter ist als 1460, möglicherweise bis in die Vorzeit hineinreicht.

Ausgehend von den bisher erzielten Ergebnissen kann eine örtliche Nutzung von Kupferlagerstätten im Untersuchungsgebiet während der Bronzezeit postuliert werden. Wo aber innerhalb des Untersuchungsgebietes montanarchäologisch erfolgversprechend anzusetzen ist, kann nach unserer Auffassung erst nach einer sorgfältigen Analyse der Rohmetallfunde (insbesondere Gußkuchen) von Kupfer erfolgen. Erst wenn man festgestellt hat, wieviel Kupfersorten in Umlauf waren, können wir versuchen, aufgrund von kennzeichnenden Elementmischungen (»Fingerabdruck« einer Lagerstätte) in den jeweiligen Lagerstättenregionen Reste von Pingen, alte Scheideplätze oder Schlackenhalde auszugraben. Auf der anderen Seite ist es dann möglich, den Weg des Rohkupfers in seine legierten Fertigprodukte zu verfolgen. Daß das möglich ist und nicht verhindert wird durch die beim Schmelzprozeß variablen Faktoren, hat die Untersuchung des Helgoländer Kupfers gezeigt (Schulz 1983). Der Erfolg hängt von den jeweiligen Analysemethoden ab. Deshalb haben wir als Hauptanalyse die Neutronenaktivierungsanalyse (im folgenden INNA abgekürzt) gewählt.

Dieses Verfahren hat eine hohe Nachweisempfindlichkeit und ist für die Untersuchung von Kupfer und Bronze gut geeignet. Die Aktivierungsprodukte der meisten interessierenden Verunreinigungen haben eine längere Halbwertszeit als die des Kupfers. Die Isotope des Zinns haben nur relativ kleine Aktivierungsquerschnitte bzw. die entstehenden Radioisotope emittieren nur mit geringer Ausbeute  $\tau$ -Quanten, so daß auch ein relativ hoher Zinngehalt die Messung nicht stört. Lediglich der bei unseren Untersuchungsobjekten öfters in Erscheinung tretende hohe Gehalt an Antimon (bis zu 13%) beeinträchtigt die Nachweisempfindlichkeit, insbesondere die von Sn und Au, erheblich. Ein bedeutender Nachteil der Methode ist es, daß es nicht möglich ist, mit ihrer Hilfe den Gehalt an Pb zu bestimmen, dessen Kenntnis für die Charakterisierung der Probe von erheblicher Bedeutung ist. Es sind daher zur Ergänzung der INNA-Messungen Bleibestimmungen mit der Methode der Atomabsorption (AAS) vorgesehen.

Probe Nr.	Fundort	Sn	Sb	As	Fe	Co	Ni	Ag	Au	Zn	Mn	In
51	Unadingen	–	13.5	2.70	1.0	0.947	2.00	1.01	0.0002	?	0.0011	0.0013
52	Unadingen	–	0.27	0.16	0.3	0.109	0.18	0.047	0.0004	0.03	0.0023	–
53	Unadingen	–	0.33	0.23	0.4	0.109	0.18	0.050	0.0004	0.03	0.0033	–
54	Unadingen	–	0.72	0.35	0.6	0.110	0.18	0.043	0.0004	0.03	0.0014	–
56	Unadingen	–	0.31	0.14	0.3	0.115	0.20	0.052	0.0004	0.03	0.0008	–
55	Unadingen	5.0	0.44	0.25	0.4	0.100	0.15	0.118	0.0006	0.03	0.0011	0.0042
59	Weinheim-N.	3.31	0.62	0.20	0.05	0.0281	0.22	0.140	0.0009	0.018	0.0010	0.0004
60	Weinheim-N.	9.22	0.96	0.23	0.02	0.0255	0.22	0.180	0.0010	0.01	0.0010	0.0008
26	Ffm.-Niederr.	–	0.44	0.24	1.1	0.107	0.18	0.045	0.0003	?	0.0004	–
6	Bad Homburg	5.6	0.62	0.47	0.30	0.103	0.31	0.147	0.0011	0.04	0.0007	–
30	Gudensberg	–	0.30	0.16	0.30	0.0900	0.35	0.050	0.0012	0.04	?	?
19	Dossenheim	–	0.60	0.39	0.50	0.224	0.30	0.062	0.0005	0.03	0.0005	0.0006
21	Dossenheim	–	0.50	0.31	0.70	0.271	0.30	0.051	0.0006	0.02	0.0064	0.0001

Abb. 11 Analysenergebnisse von urnenfelderzeitlichen Bronzen aus den Depotfunden von Unadingen, Stadt Löffingen, Kr. Breisgau-Hochschwarzwald – Weinheim-Nächstenbach, Rhein-Neckar-Kr. – Frankfurt/M.-Niederrad – Bad Homburg v.d.H., Hochtaunuskreis – Gudensberg, Schwalm-Eder-Kr. und Dossenheim, Rhein-Neckar-Kr.

Bisher wurden ca. 60 Proben, in der Mehrzahl Fragmente von Gußkuchen und andere Halbfertigprodukte, untersucht und dabei folgende Elemente bestimmt: Zinn, Antimon, Arsen, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, Zink, Indium, Silber und Gold, gegebenenfalls auch weitere wie Selen, Chrom und Iridium. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt, daß der mittlere Gehalt der Proben an Arsen und Antimon mit 0,3% relativ hoch ist. Dabei ist zu beachten, daß beim Antimon Extremwerte bis zu etwa 13% auftreten, was auf eine Verhüttung von Antimonfahlerzen schließen läßt. Verhältnismäßig hoch liegen auch die häufigsten Werte für Kobalt und Nickel (0,1% bzw. 0,3%), wobei die Nickelwerte erheblich weniger variieren als die für Kobalt. Relativ hohe Gehalte an diesen beiden Elementen waren bei überwiegender Verhüttung von Cu-Erzen dieser Region zu erwarten. Auffallend ist, daß bei der weitaus größten Zahl der Proben das Verhältnis der Konzentrationen von Co zu Ni kleiner als 1 ist. Weiterhin ist zu bemerken, daß auch der mittlere Gehalt an Silber im Vergleich zur Masse der bekannten Analysenwerte von prähistorischen Cu- oder Cu-Legierungsfunden mit 0,1 relativ hoch liegt.

Erste Ergebnisse können nur skizziert werden, da die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind:

1. Im Gebiet zwischen Mosel und Werra gelangte auch noch in der ausgehenden Bronzezeit umfangreich Rohkupfer (kein Sn; As und Sb weniger als 1%) in Umlauf (19 Objekte).
2. Der Anteil von Zinnbronzen (0,25-13% Sn; As und Sb weniger als 1%), von Antimonbronzen (kein Sn; Sb zwischen 1-5%) und von Zinn-Antimon-Bronzen (1-10, 8% Sn; 1-2, 6% Sb) ist bei Gußkuchen etwa gleich groß (11 bzw. 12 bzw. 9 Objekte).
3. Einige Verhüttungsprodukte von Antimonfahlerzen (kein Sn; Sb mehr als 5%) bezeugen neben den »klassischen« Kupfer-Zinn-Bronzen die Herstellung von Ersatzlegierungen (3 Objekte). Die Fundstücke dieser Kategorie sind so spröde, daß nicht anzunehmen ist, aus diesem Material seien ohne weitere Zusätze Gebrauchsgegenstände gefertigt worden. Auffallend sind die hier gefundenen Co/Ni-Verhältnisse von  $10^{-5}$  mit Ni-Gehalten von 1-3% und Silberwerten bis zu 2%.
4. Die Objekte der einzelnen Kategorien treten meist an verschiedenen Fundorten (Depotfunden) gehäuft, jedoch oft nicht in dem betreffenden Fund als einzige Kategorie auf.

Besonders aufschlußreich sind die Analysen von Gußkuchenfragmenten aus dem Depotfund von Unadingen, Kr. Breisgau-Hochschwarzwald, die hier schon vorab der beabsichtigten Bestimmung des Bleigehaltes wegen bekanntgegeben werden sollen (Abb. 11).

Neben einem Verhüttungsprodukt eines Antimonfahlerzes sind vier Rohkupferproben sowie eine Zinnprobe aufgeführt. Bei den Rohkupferproben (Nr. 52, 53, 54 und 56) sind die Gehalte an Co, Ni, Au und

Zn innerhalb der gegebenen Meßgenauigkeit identisch, die an Ag fast gleich. Die Konzentrationen an Fe, As und Sb liegen für alle Objekte in der jeweils gleichen Größenordnung, sind aber deutlich verschieden. In keiner Probe ist In nachzuweisen. Dieser Schwerpunkt legt die Vermutung nahe, daß die vier Gußkuchenfragmente aus einer Charge stammen oder aus dem gleichen Erz nach dem gleichen Verfahren gewonnen wurden. Hierbei wird im Endprodukt ein identischer Gehalt an Co, Ni, Ag, Au und Zn erzielt, während geringe Variationen der Bedingungen, z. B. der Temperatur ausreichen, um den Gehalt an As und Sb zu verändern, wenn man keine absichtliche Zulegierung dieser Elemente in solch geringen Mengen unterstellen will. Das Institut für Anorganische Chemie der Universität Frankfurt hat uns freundlicherweise den Bleigehalt dieser Proben mit der AAS-Methode bestimmt. Er beträgt durchweg 0,05%. Probe 55 ist eine Zinnbronze, die durch Zulegierung von etwa 6% bleihaltigem Zinn aus dem vorher erwähnten Kupfer gewonnen wurde. Der Bleigehalt des Endproduktes beträgt etwa 0,85%. Co- und Ni-Gehalt sind infolge Verdünnung leicht vermindert, während dies wegen der geringeren Genauigkeit der Bestimmung von Zn bei diesem nicht zu bemerken ist.

Die Konzentrationen an Ag und Au sind deutlich gegenüber dem Rohkupfer erhöht. In ist mit 40 ppm deutlich meßbar. As, Sb, Fe und Mn sind nicht signifikant verändert. Dies bedeutet, daß die zusätzlich auftretenden Beträge an Gold und Silber sowie das In über die zulegierten Metalle, vermutlich über das Blei, in die Bronze gelangt ist, von dem ja bekannt ist, daß es oft erhebliche Mengen an Silber (in diesem Falle müßten es etwa 8% gewesen sein) und meßbare Mengen von In enthält.

Auf die gleiche Weise läßt sich zeigen, daß zwei Zinnbronzen (Probennr. 59, 60) aus dem Depotfund von Weinheim-Nächstenbach aus dem gleichen Rohkupfer unter Zugabe verschiedener Zinnmengen gefertigt wurden. Rohkupfer vom Typ »Unadingen« tritt auch noch an Proben von drei weiteren hessischen Fundstellen auf (Frankfurt-Niederrad, Nr. 26; Bad Homburg, Nr. 6; Gudensberg, Nr. 30) sowie in nur leicht veränderter Form bei zwei Rohkupferobjekten von Dossenheim (Probennr. 19, 21). Würde sich dies noch durch weitere Untersuchungen bestätigen, könnte ein relativ weiträumiges späturnenfelderzeitliches Absatzgebiet des Rohkupfers vom »Typ Unadingen« umschrieben werden (Abb. 12), innerhalb dessen aber die Funde viele gemeinsame Züge aufweisen. Selbstverständlich wissen wir (noch) nicht, aus welchem Revier das Kupfer stammt und wo es aufbereitet und verhüttet wurde. In der Verteilung zeigt sich sehr deutlich der Weg von Südwestdeutschland über den Oberrheingraben durch das Untermain-Gebiet nach Niederhessen, also der altbekannte Weg der »Pfahlbaubronzen« nach Norden.

Der Gehalt an Ni und Co scheint nach dem Gesagten geeignet zu sein, sowohl Rohkupfer als auch das Kupfer in Bronzen zu charakterisieren. Da die Kobaltgehalte die größere Variationsbreite aufweisen und das Co mit der INNA empfindlicher und genauer zu bestimmen ist als das Ni, haben wir versucht, anhand des Kobaltgehaltes eine Gruppeneinteilung vorzunehmen. Wir sind uns dabei bewußt, daß diese Einteilung nur relevant sein kann, wenn man voraussetzt, daß bei der Gewinnung des Rohkupfers annähernd gleiche Herstellungsverfahren angewendet wurden. So ist es möglich, daß bei mangelnder Luftzufuhr beim Abrösten sulfidischer Kupfererze das ursprünglich darin vorhandene Kobaltsulfid nicht vollständig in das Oxid überführt wird und damit die normalerweise sich einstellende Verteilung zwischen Metall und Schlacke erheblich gestört wird. Trotzdem möchten wir mit einer gewissen Willkür unterscheiden:

Gruppe I	Co: < 0,001%	= 2 Objekte
Gruppe II	Co: 0,001-0,01%	= 2 Objekte
Gruppe III	Co: 0,01-0,1%	= 22 Objekte
Gruppe IV	Co: 0,1-0,3%	= 22 Objekte
Gruppe V	Co: > 0,3%	= 4 Objekte

Es fällt auf, daß in Gruppe III überwiegend Zinn- und Antimon-Zinnbronzen zu finden sind, während in Gruppe IV Rohkupfer und Antimonbronzen dominieren.

Es wäre sicherlich verfehlt, bei der kleinen Zahl von Analysen, die bisher vorliegen, aufwendige statistische Auswertungen zu betreiben, doch sei ein kleiner Vergleich mit Meßergebnissen aus anderen Herkunftsgebieten bzw. anderen Perioden gestattet. Leider lassen die SAM-Analysen keinen Vergleich zu,

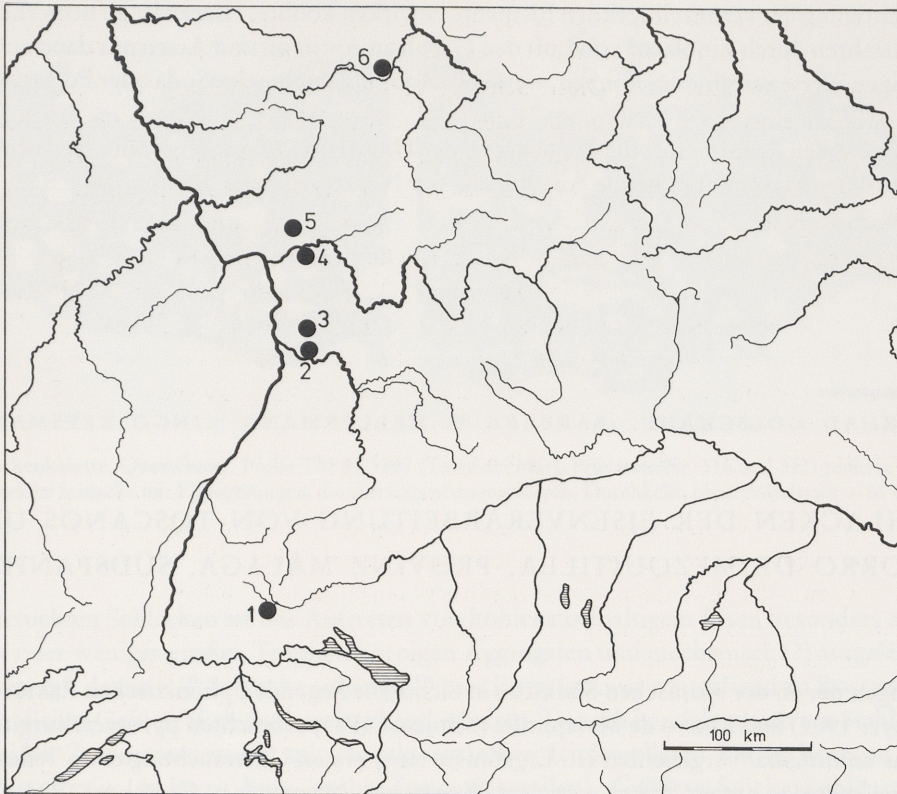


Abb. 12 Lage der in Abb. 11 genannten Fundstellen: 1 Unadingen. – 2 Dossenheim. – 3 Weinheim-Nächstenbach. – 4 Frankfurt-Niederrad. – 5 Bad Homburg. – 6 Gudensberg.

da hier in den seltensten Fällen hinreichend genaue Werte für den Kobaltgehalt vorliegen. Interessant ist hingegen eine Untersuchung von V. Rychner (1981; 1983) von Funden der späten Bronzezeit aus Auvernier bzw. Corcelettes in der Westschweiz. Rychner hat insgesamt 130 Objekte – Beile, Sichel, Messer, Armreife und Speerspitzen – meist aus bleihaltiger Zinnbronze untersucht. Die Analysen wurden mit Hilfe der Optischen Emissionsspektroskopie durchgeführt. Alle Fundstücke weisen eine sehr ähnliche Zusammensetzung auf, was auf eine gemeinsame Herkunft schließen läßt. Nach unserem Schema wären sämtliche Funde aus Corcelettes in Gruppe III, die aus Auvernier in der Hauptsache in Gruppe IV, der Rest ebenfalls in Gruppe III einzuordnen. Gegenüber einem Verhältnis der Mittelwerte für die Gehalte von Kobalt zu denen von Nickel von 0,33 bei unseren Proben beträgt es für Funde aus Corcelettes 0,22, für die aus Auvernier 0,33-0,44 je nach Art der Gegenstände. Auch die Gehalte an den übrigen gemessenen Verunreinigungen liegen in der gleichen Größenordnung wie bei unseren Proben; insbesondere ist der Gehalt an Antimon, wie in unseren Analysen, überall größer als der an Arsen.

Eine Gegenüberstellung von Analysen spätbronzezeitlicher Objekte mit solchen aus den beiden hessischen Spätlatène-Oppida Goldgrube (Heidetränktal) und Dünsberg<sup>1</sup> zeigt, daß der Gehalt an Verunreinigungen in den späteisenzeitlichen Bronzen durchweg um mindestens einen Faktor 10 kleiner ist als in der reinsten Gruppe der Späturnenfelderzeit. In unserer Klassifizierung wären sie durchweg in die Gruppe II einzuordnen. Das Co/Ni-Verhältnis liegt im Mittel bei 0,1. Dieser Befund, der auf eine Verwendung von sehr reinem Kupfer schließen läßt, gilt fast durchweg für Objekte aus dieser Periode. Man vermutet daher, daß ein neues, in der späten Urnenfelderzeit noch nicht bekanntes Reinigungsverfahren für Rohkupfer diesen technischen Fortschritt ermöglicht hat. Härke (1978) erwähnt, daß dieser Prozeß in einem längeren Einblasen von Luft in die Schmelze bestehen könnte, was eine bessere Verschlackung

<sup>1</sup> D. Hollmann u. G. Wolf, *Germania* 63, 1985, 504f. Tab. 10.

oder Verflüchtigung der verunreinigenden Elemente bewirken könnte. Hierzu ist zu bemerken, daß auch moderne Verfahren durch Einblasen von Luft den Gehalt an Antimon und Arsen nur dann auf die gemessenen niedrigen Werte vermindern können, wenn der Rohkupferschmelze Soda oder Pottasche zugesetzt wird.

Die Verfasser danken dem Institut für Kernchemie der Universität Mainz sowie der Kernforschungsanstalt Jülich für die entgegenkommende Ausführung der Neutronenbestrahlung.

FARHAD GOLSCHANI · BARBARA E. HELLERMANN · INGO KEESMANN

## SCHLACKEN DER EISENVERARBEITUNG VON TOSCANOS UND MORRO DE MEZQUITILLA, PROVINZ MÁLAGA, SÜDSPANIEN

Die Grabungen der an der spanischen Südküste in Sichtnähe liegenden phönizischen Faktoreien Toscanos (Niemeyer 1982) und Morro de Mezquitilla (Schubart 1983) erbrachten pyrometallurgisches Fundmaterial, das unmittelbar vergleichbar ist. Ergebnisse einer ersten Untersuchung eines Teiles der Funde von Toscanos<sup>1</sup> wurden bereits früher vorgelegt (Keesmann, Niemeyer u. Golschani 1984). Sie können nun ergänzt sowie in einem größeren geographischen und zeitlichen Rahmen mit den Ergebnissen neuer und mit denselben Methoden durchgeführter Untersuchungen verglichen werden (Golschani 1987. – Hellermann 1987). Bei den hier untersuchten pyrometallurgischen Abfällen handelt es sich um flache, kalottenförmige Schlacken Kuchen (Abb. 1) und zahlreiche sekundär in ihrer Form veränderte Einzelstücke, die als Bruchstücke von Schlackenkalotten gedeutet werden können. Schlacken mit typischen Fließstrukturen fehlen.

Die Proben beider Fundpunkte zeichnen sich durch außerordentliche Heterogenität aus, die sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch in Erscheinung tritt. In einigen Proben ist ein Lagenbau gut entwickelt. Mineralogisch bestehen die Schlacken hauptsächlich aus Wüstit ( $\text{FeO}_{1+x}$ ), eisenreichem Olivin (Fayalit,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), Hercynit-betontem Spinell ( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$  mit Magnetitkomponente  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Kalium-Aluminium-Silikaten der Reihe Leucit-Kalsilit, mikrolithisch entwickeltem Glas und metallischem Eisen.

Im mikroskopischen Bereich sind ausgeprägte Ungleichgewichte zwischen den beobachteten Schlackenbestandteilen sowie Umwandlungserscheinungen zu beobachten, die vor oder während der Abkühlung der silikatischen «Schmelzen» stattgefunden haben. Das ursprüngliche Gefüge wurde teilweise sehr stark durch sekundäre Umwandlung während der Bodenlagerung der Abfälle überprägt.

Umwandlungserscheinungen in den Wüstit-Individuen und randliche Umwandlungen des Wüstits während der Schlackenbildung deuten auf wechselnde Redoxbedingungen im heißen Zustand der Schlacken hin. Die »Paragenese« Wüstit-Magnetit-metallisches Eisen (Ferrit, z. T. mit Zementit) belegt das in den Schlacken ausgebildete Ungleichgewicht besonders deutlich. Dies gilt auch für die sehr häufig in Olivin zu beobachtenden kleinen und teilweise idiomorphen Einschlüsse von ferritischem Eisen. Wir interpretieren dieses Eisen in Fayalit als – lokal rekristallisierte - Relikte aus partieller Oxidation in  $\text{SiO}_2$ -reichem Milieu.

<sup>1</sup> Unter dem Stichwort «Toscanos» werden im folgenden die Schlackenfundpunkte der Faktorei Toscanos und des

westlich darüber liegenden Cerro del Peñon zusammengefaßt.