

Zur Erforschung urgeschichtlicher Metallurgie

Von Axel Hartmann und Edward Sangmeister^[*]

Das Puzzlespiel heißt: wie lebte der vorgeschichtliche Mensch? An seiner Lösung beteiligen sich heute gemeinsam mit Phantasie und Akribie Archäologen und Naturwissenschaftler, der Chemiker und der Prähistoriker. Einige Ergebnisse solchen Zusammenwirkens enthält dieser Fortschrittsbericht.

1. Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden

Die Archäologie ist heute imstande, uns ein – teilweise allerdings noch recht schemenhaftes – Bild des vorgeschichtlichen Menschen, seiner Lebensweise, Bräuche und Umwelt zu zeichnen. Je mehr sie von seinen Gerätschaften, Schmuckstücken sowie Werkzeugen ans Tageslicht bringt und uns bekannt macht, desto eindringlicher erhebt sich die Frage, wie diese Dinge alle hergestellt wurden, die Frage also nach den technischen Kenntnissen, Fähigkeiten und Möglichkeiten des vorgeschichtlichen Menschen. Dieser Bereich kann zum Teil noch vom Archäologen selbst bearbeitet werden. Was jedoch die Erforschung der urgeschichtlichen Metallurgie, also der Verarbeitung von Metallen und deren Gewinnung in den prähistorischen Perioden betrifft, so liegt auf der Hand, daß hier ein Zusammenwirken zwischen Archäologen und Naturwissenschaftlern vonnöten ist. Denn Ziel solcher Arbeiten sollte einerseits die metallkundliche Gefügeuntersuchung prähistorischer Metallfunde, andererseits die chemische Untersuchung solcher Funde auf ihre quantitative Zusammensetzung hin sein. Vor allem die zweite Möglichkeit ist während der letzten zwanzig Jahre Forschungsziel der „Arbeitsgemeinschaft für Metallurgie des Altertums bei dem Römisch-Germanischen Zentralmuseum“ gewesen, über deren Arbeiten im folgenden vornehmlich berichtet werden soll. Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden derartige Untersuchungen am Württembergischen Landesmuseum in Stuttgart durchgeführt, das diese Aufgabe nunmehr als zentrale Forschungstätigkeit seines Physikalisch-chemischen Labors übernommen hat.

In Stuttgart wandte man sich zunächst der analytischen Untersuchung einer großen Anzahl prähistorischer Kupfer- und Goldfunde zu und ließ die metallkundliche Gefügeuntersuchung bisher mehr im Hintergrund, weil

1. zur analytischen Untersuchung nur die Entnahme einer kleinen Materialprobe notwendig ist; das Fundobjekt selbst wird dabei nicht gebraucht. Insbesondere wenn man auch den Fundbesitz ausländischer Museen in Betracht ziehen will, gewinnt dieser Umstand wesentlich an Bedeutung. Zur Gefügeuntersuchung hingegen wird das Untersuchungsobjekt im Laboratorium benötigt. –

[*] Dr. A. Hartmann
Chemisch-physikalisches Laboratorium
Württembergisches Landesmuseum
7 Stuttgart 1, Schillerplatz 6 – Altes Schloß
Prof. Dr. E. Sangmeister
Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität
78 Freiburg, Adelhauser Straße 33

2. die analytische Untersuchung die Möglichkeit verspricht, Handelswege und Verbindungen zwischen prähistorischen Kulturkreisen zu erkennen, sofern es gelingt, verschiedene Fertigkeitsgrade beim Legieren von Metallen oder aber Metallmaterialien unterschiedlicher Provenienz durch die jeweils vorkommenden Beimengungen festzustellen und räumlich sowie zeitlich abzugrenzen. Fernziel ist dabei, Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit der urgeschichtlichen Metallgewinnung und -verarbeitung zu klären.

Die Gefügeuntersuchung dagegen gibt vorwiegend Aufschluß über technische Einzelheiten der Verarbeitung des Metalles zum Fertigprodukt, z. B. darüber, ob es gehämmert, gegossen, geglättet oder abgeschreckt wurde. Gewiß wäre es nicht uninteressant, die Ausbreitung auch dieser technischen Kenntnisse zu verfolgen; vielversprechender und leichter durchführbar erschien jedoch die chemisch-analytische Untersuchung.

Aus den oben unter 1. angedeuteten Gründen kam es nicht so sehr darauf an, eine völlig zerstörungsfrei arbeitende Untersuchungsmethode zu finden – wie man vielleicht zunächst denken könnte –, sondern eine Methode, die mit einer geringen Materialprobe eine vollständige quantitative Analyse ermöglicht, wobei die in Betracht kommenden Konzentrationen der Nebenbestandteile sich jeweils über mehrere Zehnerpotenzen erstrecken. Bedenkt man, daß nicht etwa stichprobenartige Untersuchungen beabsichtigt waren, sondern die Prüfung von mehreren tausend Gegenständen (bis heute wurden mehr als 20000 prähistorische Funde aus Kupfer und etwa 3300 aus Gold analysiert), so liegt nahe, daß arbeitsaufwendige Mikro- oder Halbmikroverfahren auf der Basis der Naßanalyse von vornherein ausscheiden mußten. Die Emissions-Spektralanalyse hingegen konnte einen brauchbaren Kompromiß bieten zwischen Arbeits- und Zeitaufwand, benötigtem Probematerial und anfallenden Kosten einerseits, der Analysengenauigkeit und -empfindlichkeit andererseits.

Zudem konnte man bezüglich der Spektralanalyse prähistorischer Kupfergegenstände auf Vorarbeiten von *Winkler*^[1], *Otto* und *Witter*^[2] sowie *van Doorslaer*^[3] zurückgreifen. *Scheufele*^[4] hat die bis dahin zugänglichen Erfahrungen dann zu einem Verfahren ausgearbeitet, das jeweils 40 mg Substanz erfordert und für Reihenuntersuchungen geeignet ist. Man braucht dazu allerdings Eichlegierungen aus Kupfer mit den in Frage kommenden Nebenbestandteilen Sn, As, Sb, Ni, Bi, Ag, Pb etc., die nicht immer ohne Schwierigkeiten herzustellen waren.

Erst als man mit der Analyse von ca. 10000 frühbronzezeitlichen Kupfergegenständen schon jahrelange Erfahrungen gesammelt hatte und die Arbeiten zu ermutigenden Ergebnissen führten, stellte sich die Frage der Ausweitung solcher Untersuchungen auch auf prähistorische Goldfunde.

Hier allerdings war es wegen der besonderen Kostbarkeit der Objekte notwendig, mit so wenig Material wie irgend möglich auszukommen. Es gelang, ein Verfahren zu entwickeln^[5], das mit 2 mg Goldsubstanz die Nebenbestandteile – in den meisten Fällen mit einer Empfindlichkeit bis herab zu 0.01% oder weniger – spektralanalytisch zu bestimmen gestattet. Vor allem ließ sich die Verwendung von Eichlegierungen aus Gold/Silber/Kupfer mit den in Betracht kommenden Nebenbestandteilen dadurch vermeiden, daß die Goldprobe in gelöstem Zustand auf Graphitelektroden aufgetropft wird und so auch nur Goldlösungen mit denselben Nebenbestandteilen in bekannter Konzentration zur Eichung herangezogen werden müssen.

Auf diese Weise gelang es, selbst wertvollste Bestände in- und ausländischer Museen in die Untersuchungen einzubeziehen und anfänglich vorhandene Bedenken hiergegen zu zerstreuen.

2. Zur Interpretation der Kupferanalysen^[6]

Die spektralanalytische Untersuchung prähistorischer Kupfergegenstände erlaubt, wie zuvor beschrieben, eine zweifache Interpretation: Zum ersten können die Arten der Legierungen ermittelt und damit die technische Entwicklung verfolgt werden. Zum zweiten scheint es möglich zu sein, anhand charakteristischer Verunreinigungen das Erz und damit die Lagerstätten zu bestimmen, aus denen der Voreiszeitmensch den Rohstoff für gewisse Geräte bezog. Aus der Verbreitung der Geräte und ihrer Entfernung vom Rohstoffgebiet sollten sich dann weitere Schlüsse auf den Handel der betreffenden Zeit und damit auch auf Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit der Metallgewinnung und -verarbeitung ziehen lassen.

Während jedoch die Ermittlung der Legierungsarten keine wesentlichen Schwierigkeiten bereitete, erwies sich die Bestimmung der Lagerstätten als nicht so einfach wie angenommen, da die Unterschiede der Lagerstätten untereinander nicht groß genug sind, um mehr als grobe Zuweisungen zuzulassen. Weiterhin ist aber auch der Vergleich von heute zugänglichen Erzproben mit Analysenergebnissen von urgeschichtlichen Fertigwaren recht problematisch. Die Erzproben stammen zum großen Teil aus modernem Untertagebau und können deshalb ganz anders zusammengesetzt sein als das obertägig ausbeißende Erz, das dem urgeschichtlichen Menschen zur Verfügung stand. Schließlich kennen wir auch den Verhüttungsprozeß nicht, mit dem man zu urgeschichtlichen Zeiten das Metall aus dem Erz gewann und dessen technische Einzelheiten – man denke nur an die Temperaturführung – sicherlich von Einfluß auf die Zusammensetzung des Endproduktes sind.

So wurde in Stuttgart die unmittelbare Frage nach der Lagerstätte fallen gelassen; um der Herkunftsfrage überhaupt näher zu kommen, wurden die Analysenergebnisse urgeschichtlicher Objekte untereinander verglichen. Hierzu be-

nötigt man eine Methode, die aus der Fülle der Analysendaten solches Material auszugliedern erlaubt, das seine einheitliche Zusammensetzung gleichem Ausgangsmaterial und sich entsprechenden technischen Prozessen verdankt. Als Methode der Wahl bot sich ein statistisches Verfahren an, wie es von *Klein*^[4] beschrieben wurde. Damit gelang es, aufgrund der vorliegenden Analysendaten jeweils Materialien mit „in erster Näherung“ einheitlicher Elementkombination zusammenzufassen, die als „Materialgruppe“ bezeichnet werden. Die Materialgruppen lassen sich sowohl räumlich als auch zeitlich fixieren, wie als Beispiele die Karten der Abbildungen 1–4 zeigen mögen.

Aus der Verbreitung einer Materialgruppe A läßt sich nun erkennen, in welchem Gebiet dieses Material am stärksten und in welchen Gebieten es nicht verwendet worden ist; auch kann man erkennen, in welchen vorgeschichtlichen Zeiten es etwa auf den Markt kam, wann es ihn beherrschte und wann es wieder verschwand. Damit ist zwar nicht der genaue Herkunftsort des Rohmaterials bestimmt, so doch aber eine Aussage zu einem Stück Wirtschaftsgeschichte gewonnen. Und wenn es dann noch gelingt festzustellen, daß dieses Material charakteristische Qualitäten aufweist, die es besser oder schlechter für den einen oder anderen Verwendungszweck geeignet machen, so kann man auch Gründe für die Beliebtheit oder das Nachlassen des Interesses nennen.

Zur Untersuchung wurde das Kupfer mit seinen Legierungen und das Gold gewählt. Bestimmend war dabei die Tatsache, daß beide Materialien als erste Metalle vom Menschen verwendet wurden. Dies kommt nicht von ungefähr, denn beide sind gediegen in der Natur zu finden. Der urgeschichtliche Mensch konnte mit ihnen leichter konfrontiert werden als z. B. mit Eisen, das ja nur als Meteoriteisen gediegen auftritt.

Es ist wohl wichtig, sich zu verdeutlichen, was der Satzinhaltet, daß „der Mensch mit diesen Materialien konfrontiert“ wurde. Der Ablauf der Urgeschichte zeigt uns den Menschen auf der ständigen Suche nach Werkstoffen – diese Suche ist also nicht erst eine Errungenschaft des Industriealters –, hierbei unterwirft er alle unbekannten Stoffe den ihm schon bekannten technischen Prozeduren. So wissen wir, daß der Mensch der jüngeren Steinzeit, in der das erste Kupfer und Gold gefunden wurde, folgende Techniken beherrschte: Behauen, Bestoßen, Schleifen, Bohren von weichen Steinen und Knochen; Behauen und Schleifen von Feuerstein; jede Art von Holzbearbeitung mit Steinwerkzeugen; Härtung von Ton durch Brennen (Keramik). Wendete er diese Techniken auf gediegenes Gold oder Kupfer an, so konnte er die abfallfreie Verformbarkeit beider Stoffe durch Schlagen erkennen und das „Kaltenschmieden“ entdecken. Beim Feuerversuch am offenen Feuer oder im einfachen Töpferfeuer konnte er die leichtere Verformbarkeit in der Hitze („Warmschmieden“) erkennen, nachdem er die Enttäuschung verwunden hatte, daß das Feuer hier keinen Härtungseffekt ergab wie bei Ton. Er konnte auch die Schmelzbarkeit erkennen, sie jedoch noch nicht nutzen, da die Temperatur eines einfachen Töpferofens hierzu noch nicht ausreichte. Solche Temperaturen waren erst gegeben in den Töpferöfen, wie sie den Hochkulturen des Zweistromlandes im 4. Jahrtausend v. Chr. zur Verfü-

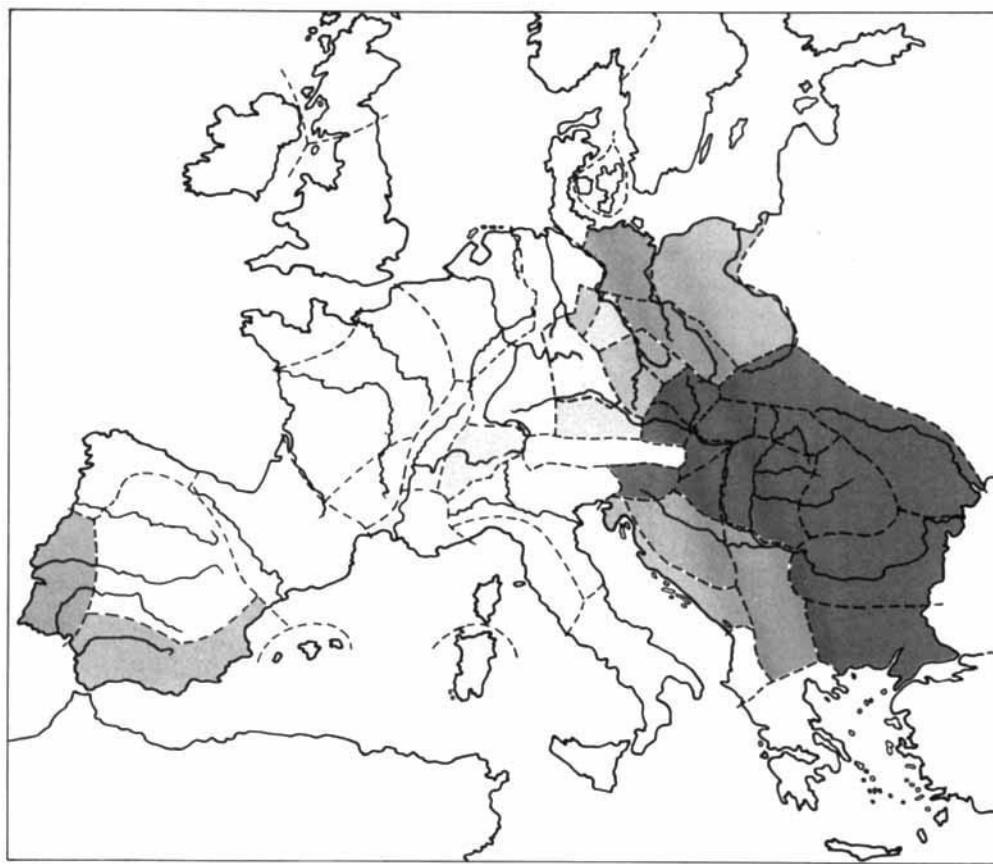


Abb. 1

Abb. 1. Verbreitung der Materialgruppe Kupfer E 00 während der Vollkupferzeit, Ende 3./Anfang 2. Jt. v. Chr. Das Material ist bis auf geringe Anteile Silber frei von Beimengungen. Die Karte zeigt die Gebiete erster Kupferverarbeitung in Europa und die Ausbreitungsrichtungen. Vorausgesetzt ist Anregung aus dem Vorderen Orient. Die Räume der relativ stärksten Verbreitung sind am dunkelsten gerastert, solche geringerer Verbreitung entsprechend heller.

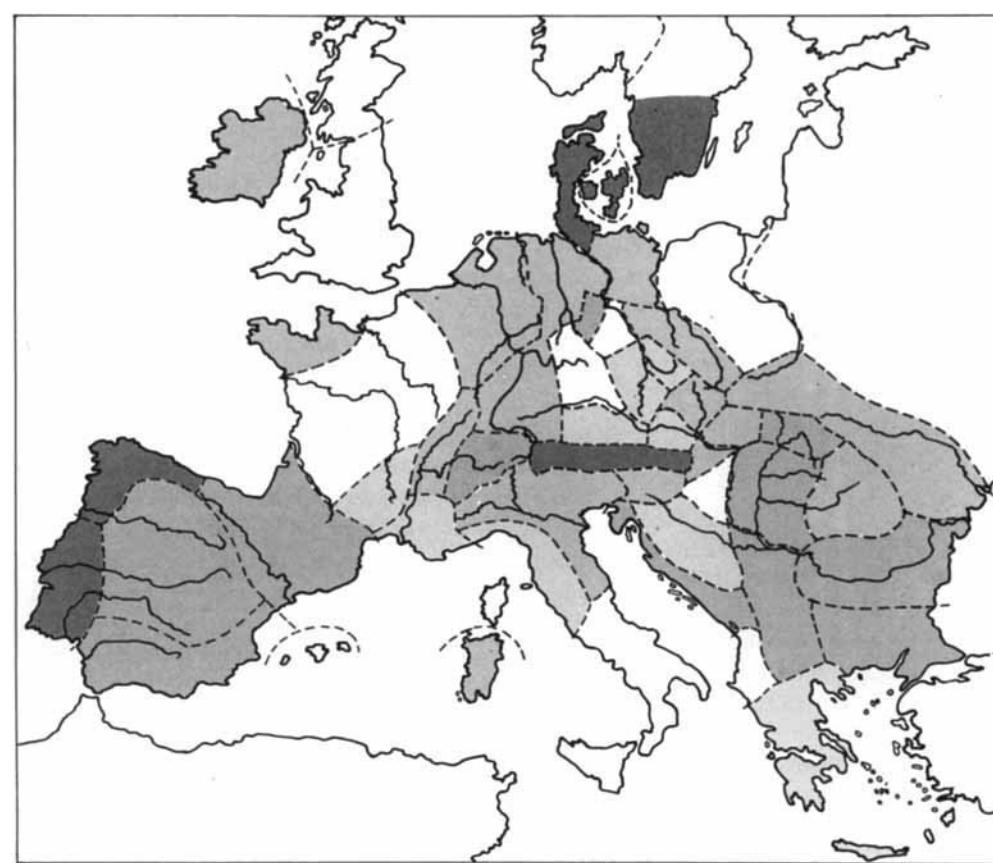


Abb. 2

Abb. 2. Zentren und Verbreitung der ersten Arsenbronze (Materialgruppe Kupfer E 01 A). Arsenbronze scheint in der Ägäis erfunden und sekundär in Räumen erzeugt worden zu sein, wo der Rohstoff zur Verfügung stand. Von diesen aus wurde sie während der späten Kupferzeit, Anfang 2. Jt. v. Chr., an weitere Gebiete verhandelt. Das hier kartierte Material enthält außer Arsen (bis etwa 7%) und geringen Anteilen Silber keine Verunreinigungen. Bedeutung der Raster wie Abb. 1.

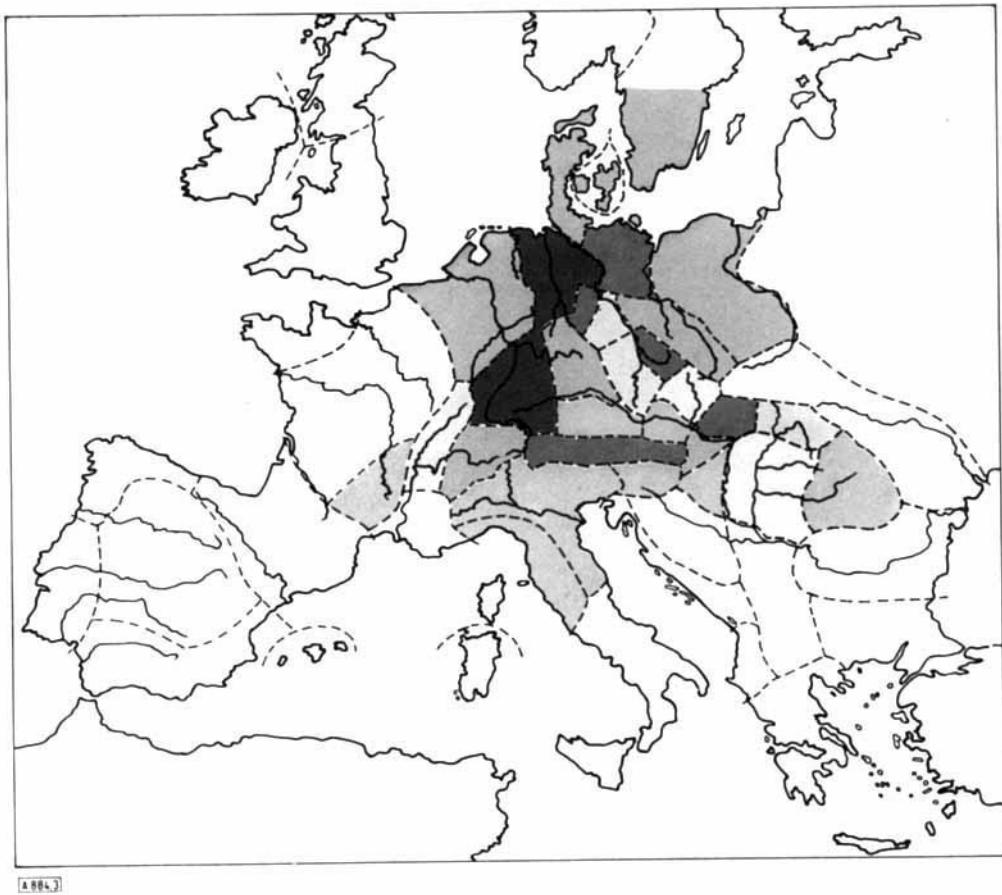


Abb. 3. Verbreitung der Materialgruppe Kupfer A während der Frühbronzezeit, 18./17. Jh. v. Chr. Das Material ist gekennzeichnet durch hohe Anteile von Arsen, Antimon, Silber und Nickel sowie das völlige Fehlen von Wismut. Antimon und Nickel erreichen regelmäßig mehrere Prozent. Bedeutung der Raster wie Abb. 1.

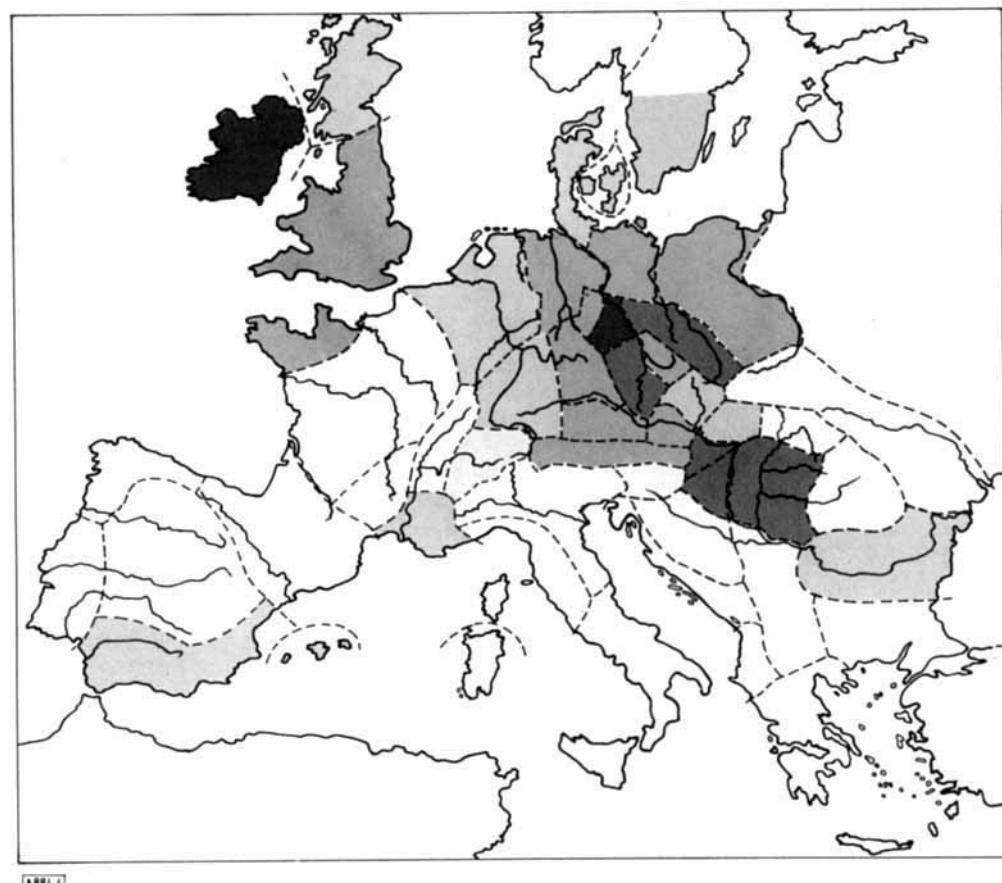


Abb. 4. Verbreitung der Materialgruppe Kupfer E 11 B, charakterisiert durch Verunreinigungen mit Arsen, Antimon und Silber, das Fehlen von Nickel, aber Vorkommen von Wismut unter 0.02%. Das Material wurde ausschließlich während der Frühbronzezeit, 18./17. Jh. v. Chr., verwendet, anscheinend aber etwas später als A entdeckt. Bedeutung der Raster wie Abb. 1.

gung standen. Im Stromland selbst gab es zwar keine Kupfervorkommen, doch war dort im 4. Jahrtausend v. Chr. ein Kulturstadium erreicht, in dem durch Transport Rohmaterial aus den Lagerstätten des umgebenden Berglandes herangeschafft werden konnte. Das Bedürfnis hierzu war gegeben, als die Hochkulturen Mesopotamiens begannen, seltene Schmuckstoffe für Amulette, Statuetten, Zierat usw. zu verarbeiten. Unter ihnen war z. B. Malachit, der geschliffen als Schmuckobjekt vorkommt. Es ist denkbar, daß der Feuertest im Töpferofen erstes wirklich erschmolzenes Kupfer ergab, beweisen können wir dies allerdings wohl niemals. Fest steht aber, daß die ältesten Kupfergeräte aus dem 4. Jahrtausend Mesopotamiens stammen, ebenso die ältesten uns bekannten Goldgegenstände. Damit, mit der Ausnutzung der vollen Verformbarkeit als charakteristischer Metalleigenschaft beginnt die Metallurgie.

Wenn wir trotzdem unsere Untersuchungen nicht an Objekten Vorderasiens angesetzt haben, so rein aus praktischen Gründen. Es war einfach zu kostspielig, genügend Analysenproben von vorderasiatischen Funden zu bekommen. Denn soviel war deutlich, nur große Serien von Proben konnten bei dem notwendigen statistischen Auswertungsverfahren tragfähige Ergebnisse bringen. Wir begannen unsere Untersuchungen daher an prähistorischen Funden aus Europa, obwohl uns klar war, daß wir uns hier sozusagen in einem „Entwicklungsland“ befinden, in das die ersten Techniken der Metallverarbeitung als fertige Rezepte gelangten. Dabei müssen wir allerdings annehmen, daß man auch damals die Geheimnisse der Verarbeitbarkeit eines neuen Materials nicht freigebig verbreitete, vielmehr wird man versucht haben, den Bedarf am neuen Metall zunächst aus den fremden Rohstoffgebieten zu decken, ohne zuviel Geheimkenntnisse dabei preiszugeben.

3. Ergebnisse der Kupferuntersuchungen^[6]

Heute, nach der ersten Auswertung von rund 20000 Analysen vorgeschichtlicher Kupfer- und Bronzegegenstände können wir für Europa etwa folgendes Bild entwerfen:

Um die Mitte des 3. Jahrtausends v. Chr. lernen Gesellschaften mit bäuerlicher Wirtschaft und festen, kontinuierlich bewohnten Siedlungen im heutigen Bulgarien, Rumänien und südlichen Jugoslawien das Kupfer kennen. Man fertigt daraus einfache Geräte und Schmuckstücke wie Pfriemen, Nadeln, Draht- und Blechringe. Das Kupfer ist fast völlig frei von Verunreinigungen und dürfte teils gediegenes Kupfer, teils aus obertägig ausbeißendem Erz gewonnen sein. Als Quelle kämen Vorkommen des Raumes von Niš in Jugoslawien und in den Karpaten in Frage. Dieses Kupfer unterscheidet sich grundlegend von dem gleichzeitig im Ostmittelmeergebiet und in Anatolien verwendeten, soweit uns hier von Proben zur Untersuchung zur Verfügung standen. Somit scheint sich die Vermutung zu bestätigen, daß Kupfersucher aus dem Vorderen Orient auf ihrem Weg in die Karpaten und den Raum Niš den dortigen Bewohnern die einfachsten Verfahren des Umganges mit dem neuen Material vermittelten.

Etwa 100 Jahre vor der Wende zum 2. Jahrtausend v. Chr. ändert sich das Bild. Jetzt wird anscheinend in großem Umfang im ganzen Bereich des Karpatenbeckens Kupfer gewonnen und zu Geräten für den eigenen Bedarf und für den Export verarbeitet. Die Geräte, Beile, Kreuzhaken, Hammeräxte u. ä., zeichnen sich durch Größe, Dicke und entsprechendes Gewicht aus. Sie dienten so möglicherweise zum Teil auch als Rohmaterial nach Art der späteren Ringbarren. Man findet sie – ähnlich wie diese – häufig zu vielen Stücken vereinigt, offensichtlich als Hort versteckt. Auch dies spricht dafür, daß nun eine spezielle Gilde von Metallhandwerkern einen festen Bestand an Geräten den gleichzeitigen bäuerlichen Siedlern anbot. Geräte dieser Produktion werden nach Norden bis zur Ostsee verhandelt, im Westen gelangen sie bis Bayern. Das Kupfer dieser Zeit ist praktisch verunreinigungsfrei, also wohl im wesentlichen immer noch aus oxidischem Erz gewonnen. Die verarbeiteten Mengen schließen aus, daß hier noch gediegenes Kupfer in größerem Maß beteiligt gewesen sein könnte.

Ein analoger Prozeß dürfte sich zur selben Zeit in Westeuropa abgespielt haben. Von den Kykladen oder von Syrien aus scheinen in Spanien und Portugal längs der Küste befestigte Faktoreien von Kupfersuchern angelegt worden zu sein. Von ihnen aus dürfte man zunächst wieder das obertägig ausbeißende oxidische Erz gewonnen und verarbeitet haben, wie gänzlich verunreinigungsfreies Kupfer bei den ältesten Geräten beweist. Etwas später finden sich dann alle Stufen der Kupfergewinnung und -verarbeitung belegt; Roherz ist teilweise von den Lagerstätten über mehr als 40 km Distanz herantransportiert, dort anscheinend im Kleinverfahren verhüttet, zu Barren, Gerät und Schmuck verarbeitet und zum Transport vorbereitet und gelagert worden. Die Formen der Objekte entsprechen nun zum Teil den ostmediterranen, in einigen Fällen auch die Zusammensetzung des Materials, so daß an gegenseitige Handelsbeziehungen gedacht werden darf. Es handelt sich um ein Metall, das durch vermutlich natürliche Anwesenheit von Antimon, Arsen und Wismut gekennzeichnet ist.

Zu dieser Zeit – um die Wende zum 2. Jahrtausend v. Chr. – ließ das Kupfer des Ostmittelmeeres wegen seines Gehaltes an Arsen schon gute Güsse in ein- oder zweiteiliger Form zu, die dort auch belegt sind. Es ist bei den vermuteten Handelsbeziehungen wahrscheinlich, daß man nun auch auf der Iberischen Halbinsel nach Kupfererzen suchte, die diesen Arsengehalt besaßen und damit die gleichen guten Gußeigenschaften ergaben. Man fand es in überreichem Maße, und aufgrund dieser reichen natürlichen Vorkommen entwickelte sich eine Produktion von „Arsenbronze“, bei der ganz offensichtlich durch Anreicherung des Arsen eine Kupfer-Arsen-Legierung mit 5 bis 8% As erzielt wurde. Vielleicht wurde hierzu schon Scherbenkobalt (gediegenes Arsen) verwendet.

Die Arsenbronze, im West- und Ostmittelmeerraum nun gleichermaßen bekannt, wird von dort aus über ganz Europa verbreitet. Dabei ist interessant zu beobachten, wie gleichzeitig mit der Arsenbronze auch die ersten metallsparend hergestellten Geräte, etwa kleine, sehr scharfkantig gegossene Beile u. ä., auftreten. Offenbar stellte die Arsenbronze ein Konkurrenzprodukt zu anderen Kupfersorten dar, die in dieser Zeit in Südosteuropa erzeugt und

verarbeitet wurden. Diese sind jedoch der Arsenbronze technisch unterlegen, weil die Verunreinigungen, die sie enthalten – Antimon, Silber, teilweise auch Wismut –, jedenfalls in der vorhandenen geringen Menge keine verbesserten Eigenschaften mit sich bringen.

Eine neuerliche Bereicherung und Verbesserung der handwerklichen Metallverarbeitung wird im 18. Jahrhundert v. Chr. erreicht, als man neue Erze erschließt und damit eine Produktion beginnt, die als Basis die mitteleuropäischen Erze von den Ostkarpaten bis zum Harz, eventuell auch solche im Bereich der Hardt in Südwestdeutschland haben dürfte. Diese Erze sind gekennzeichnet durch wechselnd hohe Anteile an Arsen, Antimon, Nickel, Silber und Wismut, zum Teil sind es die sogenannten Fahlerze. Aus ihnen werden mindestens fünf klar zu trennende Kupfersorten produziert. Sie erklären den Metallreichtum von Gesellschaftsgruppen; einen Metallreichtum, dessentwegen die Archäologen geradezu von Kulturen der „Bronze“-Zeit sprechen. Denn erst die chemische Analyse hat uns gelehrt, daß die meist sehr hell wirkenden Produkte oftmals weder Arsen- noch Zinnbronze sind, daß ihre helle Farbe vielmehr häufig auf ihren Gehalt an Silber und Nickel zurückzuführen ist, wobei die Verunreinigungen zusammen nicht selten 5 bis 10% ausmachen.

Die Produktion dieser Kupfersorten geht mit einem ganz neuen Programm von Geräten und Schmuckgegenständen einher. Offensichtlich wird erstmals der Ringbarren als Wertmaß verwendet. Dies ist ein offener Halsring mit Ösenenden, der – überarbeitet – als Schmuckstück getragen wurde, zugleich aber auch die Handelsform des Metalls darstellte. Versteckfunde von mehreren hundert solcher Ringbarren kommen vor. Zum großen Teil tragen sie noch die unmittelbaren Spuren des Gusses.

Jede Kupfersorte dieser Zeit hat ein eigenes Verbreitungsgebiet. Aus ihm kann man auf das Produktionsgebiet und die Absatzbereiche schließen, wie die Verbreitungskarten der Abbildungen 3 und 4 beispielhaft darunt. So zeigt Abbildung 3 die engere Verbreitung der Kupfersorte, die wir Materialgruppe A nennen, während aus Abbildung 4 ein viel weiter reichender Export einer anderen Kupfersorte (E 11 B) aus dem mitteleuropäischen Raum heraus deutlich wird. Dieser Export erreichte Gebiete, die kaum erschlossen waren, wie etwa Irland/England, oder solche, wo man dem alten Lieferanten Südosteuropa (vgl. Abb. 1) das Feld streitig machte, wie etwa Norddeutschland. Er greift aber auch nach Süden aus, nämlich nach Italien, wo er einem von uns hier nicht besprochenen Handelszweig eigener Prägung entgegenwirkte. Ja, er dringt in das alte Exportgebiet Südosteuropa selbst ein, allerdings ohne die Karpaten nach Osten und Süden wesentlich zu überschreiten. Auch der Südwesten Europas bleibt fast ganz ausgespart, denn dort wird weiterhin die sehr brauchbare Arsenbronze produziert (Abb. 2).

Von den hier genannten Exportwegen gewinnt einer besonders an Bedeutung, weil er den nächsten Schritt der Metallurgie einleitet. Denn in dieser Zeit der Produktion der mitteleuropäischen Kupfersorten wird der entscheidende Schritt zur Zinnlegierung, der echten Zinnbronze, vollzogen, die von nun an für viele Jahrhunderte dominieren wird, ehe das Eisen ihr den Rang abläuft.

Wir können heute noch nicht beweisen, wann und wo das Legieren mit Zinn erfunden wurde. Es scheint so, als ob man schon im Alten Orient des 3. Jahrtausends v. Chr. Zinnbronze gekannt hätte, aber es ist noch völlig rätselhaft, aus welchen Lagerstätten das Zinn dort kam. Sicher ist, daß etwa im 17. Jahrhundert v. Chr. in Mitteleuropa plötzlich Zinnbronze verwendet wird, und zwar hergestellt aus den typisch mitteleuropäischen Kupfersorten. Es ist naheliegend, an eine Weiterfindung der Zinnbronze in diesen Gebieten zu denken, wo im Erzgebirge ja eine der wenigen Zinnlagerstätten zugänglich war. Hier konnte der experimentierende Kupfersucher und -handwerker zu einer Mischung von Kupfer- und Zinnerz kommen und so die selbst der Arsenbronze überlegenen Guß- und Härtungseigenschaften der Zinnlegierung kennenlernen. Von solchen Erfahrungen aus konnte nun wohl auch gezielt Zinnerz gesucht werden.

Das Legieren mit Zinn erschloß weitere große technische Möglichkeiten. Auch die Wiederverwendung von Altmaterial, das durch den Zusatz von Zinn zu einer guten Schmelze für alle Güsse verarbeitet werden kann, erlangt nun erhöhte Bedeutung. Die Folge ist, daß wir ab etwa 1600 v. Chr. nun in zunehmendem Maße Kupfersorten feststellen, bei denen der Verdacht besteht, sie seien aus Altmaterial gewonnen. Diese Kupfersorten sind sehr allgemein verbreitet und nicht so klar zu charakterisieren wie die Sorten der vorausgegangenen Jahrhunderte. Unter den Funden tritt nun auch gehortetes Altmaterial – Besitz von Schrott-sammlern – neben Barrenlagern in den Vordergrund (Abb. 5).

Es ist verständlich, daß es in dieser Situation schwierig wird, aus den Analysen vorgeschichtlicher Gegenstände Materialgruppen von klarer Aussagekraft zu erhalten. Ziel kann nur noch sein, Gruppen, die aus Rohmaterial gewonnen wurden, zu unterscheiden von solchen, die aus Altmaterial oder aus einer Mischung von Erz mit Altmaterial stammen. Eine erste Aussage in dieser Richtung kann anscheinend schon gemacht werden: Im Bereich des Mittelmeeres von den griechischen Inseln über Italien bis Südfrankreich, aber auch in der Schweiz, scheint man in dieser Zeit wieder – wie zu Beginn – auf Erzlager zurückzugreifen, die ein verunreinigungsfreies Kupfer liefern; vielleicht dürfen wir aber auch schon mit ersten Erfolgen der Raffinierung rechnen. Für Südost-, Mittel- und Nordeuropa dagegen muß noch offen bleiben, inwieweit hier Erz der heimischen Lagerstätten mit Altmaterial aus dem gesamten Raum zusammen verarbeitet wurde. Immerhin wissen wir, daß spätestens jetzt der Untertageabbau von Kupfererz (nachgewiesen im Mitterberggebiet der Alpen) einsetzt. Von hier dürfte ein Metall gewonnen worden sein, das als Verunreinigung allein Nickel enthält (FC).

Es mag interessant sein, zum Abschluß auf die Bedeutung hinzuweisen, die die Kupfergewinnung und -verarbeitung auch für die soziale Struktur europäischer Gebiete gehabt hat. Während in den Hochkulturen des Vorderen Orients und auch Kretas im ausgehenden 3. Jahrtausend und beginnenden 2. Jahrtausend v. Chr. das Kupferhandwerk eher eine untergeordnete Stellung einnahm, scheint es noch vor der Mitte des 2. Jahrtausends in Europa zu einer Veränderung der Sozialstruktur zumindest beigetragen zu ha-

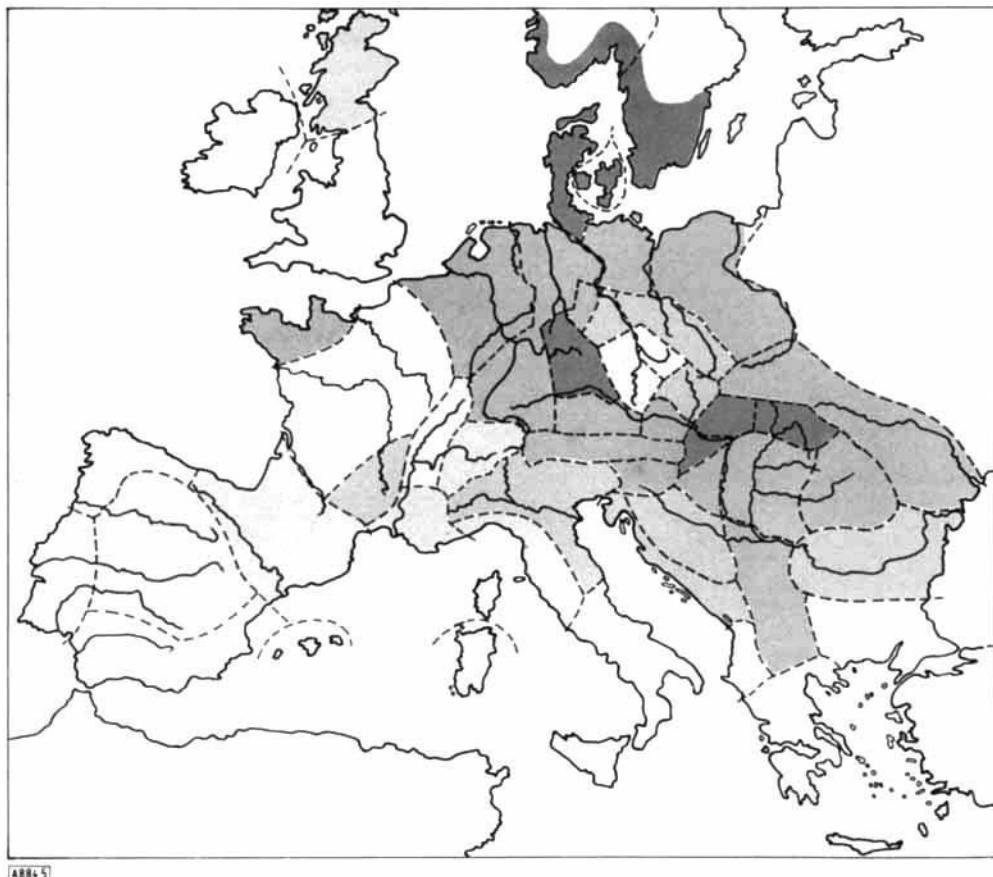


Abb. 5. Verbreitung der Materialgruppe Kupfer FB 1. Das Material scheint ab 16. Jh. v. Chr. den mittel- und nordeuropäischen Markt zu beherrschen. Arsen und Antimon sind in geringen bis mittleren Quantitäten ($\approx 0.5\%$) vertreten. Nickel immer mit Werten $> 0.1\%$ vertreten. Es besteht die Möglichkeit, daß verschiedene Altmaterialien zusammengeschmolzen wurden. Bedeutung der Raster wie Abb. 1.

ben. In dieser Zeit nämlich läßt sich an den verschiedensten Stellen Europas in unseren Funden eine sozial abgehobene Schicht fassen, deren Gräber so reich mit Edelmetallgegenständen und anderen Kostbarkeiten der damaligen Zeit ausgestattet sind, daß man allgemein von „Fürstengräbern“ spricht. Es ist gewiß bezeichnend, daß diese sich ebenso im ägäischen Handels- und Kulturzentrum finden, in den Schachtgräbern von Mykenä, wie in den besonderen Kupferproduktionsgebieten, etwa in Siebenbürgen, nahe den Westkarpaten, im Bereich des Harzes und in der Westschweiz. Genauso finden sie sich aber auch nahe den Zinngebieten der Bretagne und Südglands. Mit aller Vorsicht darf man heute wohl feststellen, daß eine Wechselbeziehung zwischen dem Aufkommen dieser sozial gehobenen Schicht und einem auf der Produktion und dem Handel mit Metall beruhenden Reichtum besteht.

4. Zur Interpretation der Goldanalysen

Große Teile Europas haben keinerlei natürliche Goldvorkommen. Als Beispiel wären die gesamte norddeutsche Tiefebene, die Niederlande, Belgien und Dänemark zu nennen. Dennoch gibt es in diesen Gebieten eine Fülle von archäologischen Goldfunden aus prähistorischer Zeit, ja Dänemark darf sogar als besonders reich an solchen Funden gelten. Das Material zur Herstellung der dort ans Ta-

geslicht gekommenen goldenen Armreifen, Schalen, Becher etc. muß also aus anderen Gegenden stammen, wobei es für uns dahingestellt bleiben muß, ob lediglich das Gold als Rohmaterial oder das fertige Schmuckobjekt transportiert und gehandelt worden ist. Zu dieser Frage kann die Materialuntersuchung verständlicherweise nichts beitragen, sie dürfte von Fall zu Fall aufgrund stilistischer und ähnlicher Merkmale von der Vorgeschichtswissenschaft her zu beantworten sein.

Die Lokalisierung natürlicher Goldvorkommen, die in prähistorischer Zeit ausgebeutet wurden und so ergiebig waren, daß sie auch goldarme Gebiete mitversorgen konnten, hat mehr Aussicht auf Erfolg als die entsprechender Kupfervorkommen; denn die Goldvorkommen sind zahlenmäßig sehr viel beschränkter. Es sind nur Vorkommen elementaren Goldes – primärer oder sekundärer Lagerstätte – in Betracht zu ziehen. Ein prähistorischer Verhüttungsprozeß unter Veränderung der Verunreinigungen und Begleitelemente nach Art und Menge fand daher nicht statt, auch sind die Vorkommen selbst – mindestens soweit es sich um solche sekundärer Natur handelt – wesentlich einheitlicher in ihrer Zusammensetzung.

So konnte mit einiger Erfolgsaussicht der Versuch unternommen werden, bedeutendere Naturgoldvorkommen durch ihre Begleitelemente zu charakterisieren, um auf diese Weise den in prähistorischen Zeiten zurückgelegten Weg des Goldes in benachbarte oder entfernte geographische

Bereiche zu verfolgen. Bisher ist es gelungen, zwei der europäischen Goldvorkommen durch ihre Nebenbestandteile einigermaßen sicher zu kennzeichnen und dieses Gold bei prähistorischen Goldfunden wiederzuerkennen.

Aber auch wenn es mißlingt, das Gold prähistorischer Objekte aufgrund der analytisch gefundenen Begleitelemente mit bestimmten Naturvorkommen in Zusammenhang zu bringen – die Frage nach der Herkunft des Goldes also offen bleiben muß –, so lassen sich doch die auf uns gekommenen Goldfunde anhand charakterisierender Begleitelemente in Beziehung setzen und – ähnlich wie bei der Kupferuntersuchung – zu sogenannten Materialgruppen zusammenfassen. Einer Materialgruppe gehören diejenigen Objekte an, deren Material in qualitativer und quantitativer Hinsicht (innerhalb gewisser Schwankungsbereiche) die gleichen Begleitelemente enthält. Damit wird die Vermutung ausgesprochen, daß das Gold aller zur gleichen Materialgruppe gehörenden Goldfunde dem gleichen Naturvorkommen entstammt, wenngleich dessen Lokalisierung mindestens vorerst noch aussteht.

Doch wird man bei der Betrachtung solcher Materialgruppen stets bedenken müssen, daß verschiedene, vielleicht weit auseinander gelegene Naturvorkommen durchaus auch Goldausbeuten ergeben können, deren Zusammensetzung sich so wenig unterscheidet, daß die daraus gefertigten Gegenstände der gleichen Materialgruppe zuzuordnen sind. Insbesondere dann, wenn eine Materialgruppe Funde sehr unterschiedlicher Zeiten und Kulturen einschließt, wird man bei deren Interpretation Vorsicht walten lassen, zumal wenn die Begleitelemente nach Art und Menge wenig charakteristisch sind..

5. Ergebnisse der Golduntersuchungen

Zunächst seien hier die am Naturgold gemachten Beobachtungen kurz gestreift. Kupfer und Silber sind in natürlichem Gold regelmäßig zu finden, allerdings in sehr unterschiedlicher Menge. Der Silbergehalt beträgt mindestens um 2% und kann Werte von 40% erreichen. Kupfer hingegen ist oftmals nur zu 0.01% zugegen und soll 1.5% nicht übersteigen^[7]. Neben diesen beiden Begleitelementen fanden wir in mehr als 30 Naturgoldproben aus dem Rhein und dessen Zuflüssen, aus Siebenbürgen, Böhmen, Irland, Wales und Schottland stets Quecksilber, manchmal nur in Spuren von weniger als 0.01%, meistens aber in der Größenordnung von Zehntel-Prozenten, und zwar einigermaßen in Berggold (Gold primärer Lagerstätte) wie in Waschgold (Gold sekundärer Lagerstätte).

Platin und Zinn hingegen, zwei Elemente, die uns in prähistorischen Goldfunden vielfach begegnen, fehlen im Gold aus primärer Lagerstätte völlig. Bei der Untersuchung von Waschgold-Konzentraten fanden wir jedoch, daß diese regelmäßig Zinn führen und zuweilen auch Platin. Diese Elemente liegen hier aber nicht als Bestandteile der im Konzentrat vorhandenen Goldkörner vor, sondern reichern sich vermöge ihrer Dichte während des Waschprozesses neben dem Gold im Konzentrat an – das Zinn als Zinnstein^[8, 9], das Platin in gediegenem Zustand^[9]. Beide Elemente gingen beim Erschmelzen der Goldausbeute in

prähistorischer Zeit leicht in den Goldregulus über und zeigen uns heute die Gewinnung dieses Goldes als Waschgold an. Wie man nun den Untersuchungsergebnissen an rund 3300 europäischen Goldfunden aus der Zeitspanne von der Bronzezeit bis etwa zum Beginn unserer Zeitrechnung entnehmen muß, war die Waschgoldgewinnung in diesem Zeitraum praktisch die einzige Methode der Goldgewinnung, denn mit nur geringen Ausnahmen enthalten alle diese Goldfunde etwas Zinn^[1].

Der Bergbau auf Gold war im prähistorischen Europa offenbar noch nicht eingeführt und begann dort allem Anschein nach erst allmählich in römischer Zeit.

Auffällig ist nun aber, daß gerade die frühesten prähistorischen Goldfunde Europas aus einem zinnfreien Material gearbeitet sind, das also durchaus im Bergbau gewonnen sein könnte, wenngleich sich dies natürlich nicht beweisen läßt, denn schließlich wäre auch eine zinnsteinfreie Waschgoldlagerstätte möglich. Doch wenn man bedenkt, daß sich dieses zinnfreie Gold (das darüber hinaus gekennzeichnet ist durch einen Silbergehalt von meistens weniger als 10%, selten bis 15%) gerade auf die früheste Metallzeit – die Kupfer- und Frühbronzezeit – beschränkt und in der mittleren Bronzezeit „ausstirbt“, liegt die Deutung nahe, hierin ein Gold zu sehen, das aus dem Bereich des östlichen Mittelmeeres importiert wurde, wo die vorderasiatischen Hochkulturen den Erzbergbau bereits im 3. Jahrtausend v. Chr. betrieben. Mit dem Ingangkommen der eigenen Waschgoldgewinnung im prähistorischen Europa bedurfte es dieses Goldimportes dann nicht mehr, das „Aussterben“ des betreffenden Materials in der mittleren Bronzezeit würde so leicht verständlich.

Dieser Gedankengang findet eine Stütze in der Verbreitung dieses von uns mit „B“ bezeichneten zinnfreien Goldes, wie sie aus Abbildung 6 ersichtlich wird. Jeder prähistorische Goldgegenstand der hierher gehörenden Zusammensetzung ist darin am Ort seiner Auffindung durch einen Punkt gekennzeichnet. Man erkennt recht gut, wie diese Funde besonders häufig in Küstennähe ans Tageslicht kamen, was wiederum für ihren Import spricht, insbesondere da ja an der Südküste Spaniens und Portugals auch durch die in Abschnitt 3 erwähnten, von Kupfersuchern angelegten, befestigten Faktoreien ostmediterraner Einfluß einwandfrei belegt ist. Die küstenernen Fundorte dieses Materials liegen fast alle im Bereich der unteren Donau und markieren möglicherweise einen binnennördlichen Importweg. Selbstverständlich sind bei Heranziehung einer solchen Verbreitungskarte die jeweiligen Forschungslücken zu bedenken, die sich im vorliegenden Fall vor allem auf die Gebiete des heutigen Griechenlands, Italiens, Bulgariens und Rumäniens erstrecken. Eine Schließung dieser Lücken durch künftige Untersuchungen dürfte sicher weitere Klärung bringen.

Die Verwendung des zinnfreien Materials B überschneidet sich in der frühen Bronzezeit mit der eines etwas später auf-

[*] Ausnahmen können auch beim Waschgold durch Vorkommen größerer „Nuggets“ verursacht sein, die mühe los von anhaftenden Begleitmineralien zu trennen sind und daher keinen Zinnstein mit sich tragen. Solches Gold weist dann aber hinsichtlich der übrigen Bestandteile die gleiche Zusammensetzung auf wie die zinnhaltigen, feinteiligen Ausbeuten der in Betracht kommenden Waschgoldlagerstätte und werden von uns dann auch als dorthin gehörig angesehen.

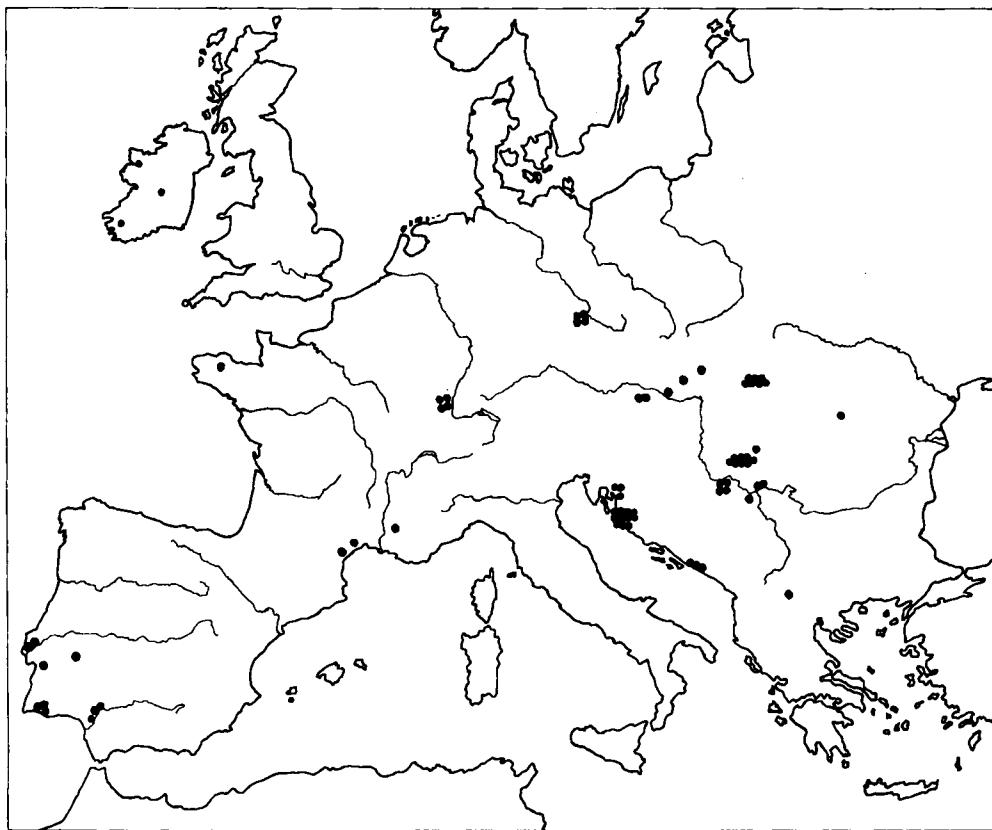


Abb. 6.

Abb. 6. Verbreitung der Materialgruppe Gold B.



Abb. 7.

Abb. 7. Verbreitung der Materialgruppe Gold A₃. Naturgoldvorkommen in Siebenbürgen als schraffiertes Gebiet gekennzeichnet.

kommen, wesentlich silberreicherem Materials (Mittelwert 26% Ag), dessen Verbreitung Abbildung 7 wieder gibt und das von uns „A₃“ genannt wird. Aus der Karte geht deutlich die Fundhäufung dieses Materials in der Gegend des mittleren Donaulaufes hervor. Dadurch lag der Gedanke nahe, das bekannte Goldvorkommen Siebenbürgens in der Nähe von Brád hiermit in Verbindung zu bringen. Leider stand uns kein Waschgold dieser Gegend zum Vergleich zur Verfügung, aber Goldproben aus dem neuzeitlichen Abbau der primären Lagerstätten dieses Bereiches um Brád weisen ebenfalls einen durchschnittlichen Silbergehalt von etwa 25% Ag auf^[10]. Man darf daher vermuten, daß während der frühen Bronzezeit das Material A₃ als Waschgold im weiteren Umkreis um die primären Lagerstätten Siebenbürgens (in der Karte als schraffiertes Trapez eingezeichnet) gewonnen wurde. Dieses einheimische Gold löste das vorher importierte Material B ab und

Gegen Ende der mitteleuropäischen Bronzezeit – etwa um die Wende vom 2. zum 1. Jahrtausend v. Chr. – erscheint eine besonders weit verbreitete Goldsorte, die nach Ausweis ihres deutlichen Zinngehaltes ebenfalls als Waschgold gewonnen wurde. Abbildung 8 zeigt, wie dieses Material, das zuvor in dem bisher untersuchten geographischen Bereich nicht verwendet wurde, nun vom Balkan bis nach Spanien und Irland im Gebrauch ist. Die Verbreitungsschwerpunkte dieses von uns mit „N“ bezeichneten Goldes, das sich durch relativ hohen Zinngehalt (>0.1%) und ebenfalls hohen Kupfergehalt ($\approx 2\%$)^[*] auszeichnet, liegen offenbar im heutigen Schleswig-Holstein/Dänemark, auf den Britischen Inseln und in den von dort aus erreichbaren Gebieten der Bretagne sowie dem westlichen Teil der Iberischen Halbinsel. Man könnte zunächst versucht sein, die Funde im äußersten Westen Europas auf ein dort heimisches Gold zufällig gleicher Zusammensetzung zurückzu-



Abb. 8. Verbreitung der Materialgruppe Gold N. Auf der irischen Insel gehören ca. 150 Objekte dieser Materialgruppe an. Die Funde Englands (Brit. Museum, London) und Dänemarks wurden bis jetzt nur zum kleineren Teil untersucht.

war zweifellos auch ein Exportartikel, denn es begegnet uns in einzelnen bronzezeitlichen Goldfunden Skandinaviens, der Niederlande und der Bundesrepublik wieder, in einem Fall scheint sogar ein in der Bretagne gefundener flacher Goldring aus siebenbürgischem Material zu bestehen. Noch völlig ungeklärt ist bis jetzt, inwieweit das siebenbürgische Gold während der Bronzezeit womöglich auch in das mykenische Griechenland, ins kleinasiatische Hethiterreich und nach Troja verhandelt wurde. Wir hoffen aber, daß zukünftige Untersuchungen hierzu noch einiges aussagen werden.

führen, doch sprechen archäologische Befunde eindeutig für vielfältige Handels- und Kulturbeziehungen gerade zwischen Portugal/Westspanien, der Bretagne und den Britischen Inseln, und zwar bereits in wesentlich früherer Zeit als der hier betrachteten. Daher ist es wohl richtig, diese so unerwartet weiträumig verbreitete Goldsorte mit

[*] Dieser Kupfergehalt übertrifft zwar die von Gmelin angeführte obere Grenze [7], wir halten es aber dennoch für wahrscheinlich, daß ein absichtlicher Kupferzusatz noch nicht in Betracht zu ziehen ist, sondern der natürliche Kupfergehalt dieser Goldsorte durch den Waschprozeß begleitende Kupfermineralien erhöht wurde.

nur einem Goldvorkommen in Verbindung zu bringen, von dem wir jedoch noch nicht angeben können, in welcher Gegend es zu suchen ist. Doch scheint uns dieses Goldvorkommen von so bedeutenden Ausmaßen zu sein, daß wir es kaum in Mittel- oder Westeuropa vermuten möchten. Es kommt hinzu, daß die Goldsorte N in Mitteleuropa gleichzeitig mit der Urnenfelderkultur auftritt, einer Zeit, die durch bedeutende Völkerbewegungen aus osteuropäischen Gebieten her gekennzeichnet war, und daß das zeitliche Gefälle dieser Völkerbewegungen von Ost nach West sich auch im Auftreten der Goldsorte N widerspiegelt. Solange die im Osten klaffende Forschungslücke der DDR, Polens und Rumäniens nicht geschlossen ist, wird eine weiterführende Aussage kaum möglich sein, deshalb wollen wir vorläufig mit aller Vorsicht nur die Vermutung äußern, daß dieses Gold irgendwo in Osteuropa gewonnen wurde, um dann – wie Abbildung 8 ja hinreichend deutlich macht – hauptsächlich auf dem Seeweg über die Ostsee, die Nordsee und den Atlantik gehandelt zu werden. Der Transportweg übers Meer muß also sowohl zu dieser Zeit als auch schon 1000 Jahre früher im Mittelmeer (Abb. 6) eine recht erhebliche Bedeutung gehabt haben, eine Tatsache, deren man sich wohl nicht immer genügend bewußt ist. Rätselhaft bleibt mindestens vorerst jedoch, welche Güter und Wertgegenstände als Tauschobjekte für einen so verbreiteten Goldhandel gedient haben mögen.

Zu jener Zeit – also etwa mit Beginn des letzten Jahrtausends v. Chr. – treten nun erstmalig in größerem Umfang auch Kupferzusätze zum Gold auf, insbesondere zur Goldsorte N. Diese bewegen sich meistens in der Größenordnung bis zu 10% Cu und überschreiten diesen Wert nur gelegentlich. Das Gold bekommt dadurch einen besonders warmen, goldgelben Farbton und gewinnt außerdem auch an Härte. Erstaunlich erscheint eigentlich nur die Tatsache, daß man erst so relativ spät zu diesem Kunstgriff gefunden hat, der auf den Britischen Inseln schnell zum regelmäßigen Brauch wurde, auf dem Festland dagegen etwas weniger Verbreitung fand. Wenn man bedenkt, daß zu dieser Zeit die Legierung von Kupfer mit Zinn auch in Mitteleuropa mindestens schon ein halbes Jahrtausend lang bekannt war, kann man wohl nur folgern, daß bestimmte mythisch-religiöse Vorstellungen bis dahin eine Verfälschung des naturreinen Goldes durch Kupfer verhindert hatten.

Schließlich darf hier noch zu einer Frage Stellung genommen werden, die die Archäologie schon seit längerem beschäftigt. Bis in die Neuzeit hinein ist am Oberrhein die Waschgoldgewinnung betrieben worden, und es lag daher die Vermutung nahe, daß sie auch weit in prähistorischer Zeit bereits im Gange gewesen und mindestens die in der weiteren Umgebung des Oberrheintales ans Tageslicht gekommenen prähistorischen Goldfunde aus Rheingold an-

gefertigt seien. Da Waschkonzentrate aus goldhaltigem Rheinsand heute noch zugänglich sind, konnten wir dieser These leicht nachgehen und fanden dabei die aus alten Analysen bekannte Zusammensetzung des Rheingoldes – niedriger Ag-Gehalt unter 10%, sowie im unteren Teil des Oberrheins vor allem begleitendes Platin – durchaus bestätigt. Der Vergleich mit prähistorischen Goldfunden, vorwiegend aus dem südwestdeutschen Raum, ergab jedoch, daß erst in der Latènezeit – also in den letzten Jahrhunderten v. Chr. – Rheingold verarbeitet wurde, die Rheingoldgewinnung vor dieser Zeit also offenbar noch nicht oder in kaum nennenswertem Umfang betrieben wurde. Wie die geringe Zahl latènezeitlicher Objekte aus Rheingold zudem deutlich macht, kann die Rheingoldgewinnung ihrem Ausmaß nach niemals verglichen werden etwa mit dem siebenbürgischen Goldvorkommen oder womöglich dem oben besprochenen Material N.

Das hier abschließend behandelte Problem macht nochmals eindringlich klar, wie unerlässlich zur Erforschung urgeschichtlicher Metallurgie die Heranziehung naturwissenschaftlicher Untersuchungsverfahren ist, sobald man versucht, sich diesem für die gesamte Technikgeschichte so bedeutsamen Thema mit Erfolg zu nähern. Daß alle aus dem Bereich der Naturwissenschaft angewandten Verfahren ständig zu verbessernde Hilfsmittel sind, braucht dem Leser gerade dieser Zeitschrift nicht demonstriert zu werden.

Eingegangen am 8. Juli 1971 [A 884]

- [1] J. Winkler: Quantitative spektralanalytische Untersuchungen an Kupferlegierungen zur Analyse vorgeschichtlicher Bronzen. Veröffentl. Landesanstalt Volkskunde Halle, Heft 7 (1935); Z. Anorg. Allg. Chem. 218, 149 (1934).
- [2] H. Otto u. W. Witter: Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa. J. A. Barth, Leipzig 1952; H. Otto, Spectrochim. Acta 1, 381 (1940).
- [3] M. van Doorslaer, Verhandel. Koninkl. Vlaam. Acad. Wetenschap. Belg. Kl. Wetenschap. 12, Nr. 35 (1950).
- [4] S. Junghans, H. Klein u. E. Scheufele: Untersuchungen zur Kupfer- und Frühbronzezeit Süddeutschlands. 34. Bericht der Römisch-Germanischen Kommission 1951–53, S. 77 ff.
- [5] A. Hartmann: Prähistorische Goldfunde aus Europa. Studien zu den Anfängen der Metallurgie, Bd. 3. Gebr. Mann Verlag, Berlin 1970.
- [6] S. Junghans, E. Sangmeister u. M. Schröder: Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa. Studien zu den Anfängen der Metallurgie, Bd. 1. Gebr. Mann Verlag, Berlin 1960; Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Studien zu den Anfängen der Metallurgie, Bd. 2. Gebr. Mann Verlag, Berlin 1968.
- [7] Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie: System-Nr. 62, 8. Aufl., S. 43. Verlag Chemie, Weinheim 1954.
- [8] F. Kirchheimer: Über das Rheingold. Jh. geol. Landesamt Bad.-Württ. 7, 77 (1965).
- [9] P. Ramdohr: Rheingold als Seifenmineral. Jh. geol. Landesamt Bad.-Württ. 7, 92 (1965).
- [10] F. Schumacher: Die Golderzlagerstätten und der Goldbergbau der Rudaer Zwölf-Apostel-Gewerkschaft zu Brăd in Siebenbürgen. Verlag M. Krahmann, Berlin 1912, S. 56.