

**Zeitschrift:** Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

**Herausgeber:** Eisenbibliothek

**Band:** 63 (1991)

**Artikel:** Die Kupfer- und die Bronzezeit

**Autor:** Hauptmann, Andreas

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-378262>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.02.2026

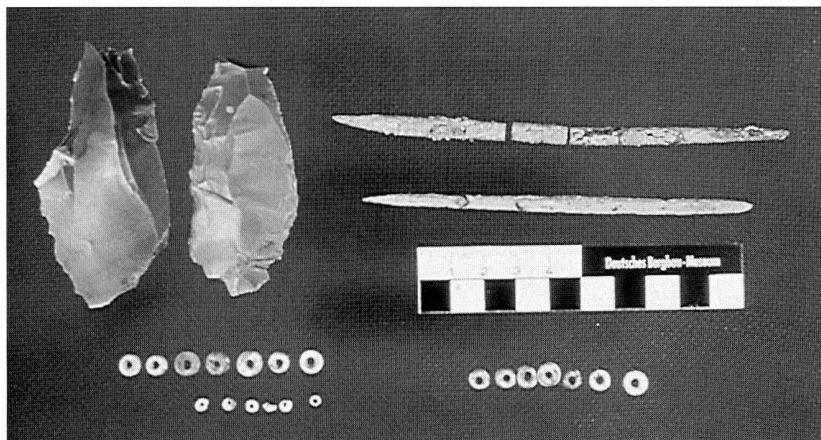
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die Kupfer- und die Bronzezeit

**Dr. Andreas Hauptmann**  
Deutsches Bergbau-Museum  
Institut für Archäometallurgie  
Lohrheidestrasse 57  
D-4630 Bochum 6

<sup>1)</sup> Die Bezeichnung «Grünstein» ist als ein Arbeitsbegriff aus der Archäologie zu verstehen. Abweichend von der geologischen Bedeutung des Wortes, beinhaltet die Bezeichnung hier die Gesamtheit von meist kräftig grün gefärbten Mineralien, die seit dem präkeramischen Neolithikum zu Schmuckzwecken verwendet werden sind.

Bild 1: Bis in die Bronzezeit hinein war neben den ständig zunehmenden Metallgeräten noch immer Hornstein (der geläufigere Name Feuerstein fällt unter diesen Begriff) der Werkstoff des täglichen Lebens. Die Abbildung zeigt zwei Kupfernadeln zusammen mit Hornsteingeräten sowie einigen zu Schmuckzwecken verwendeten Steinperlen von Maysar 25/Oman. Die Funde datieren in das 4./3. Jahrtausend (Hafit-Zeit).



## I. Die Kupferzeit: Wende vom Stein zum Metall

Metall, vor allem das Kupfer, war als Werkstoff bereits in den neolithischen Kulturen des Vorderen Orients bekannt. Möglicherweise ist das erste, sporadische Auftauchen von Kupfer im Zusammenhang mit der verbreiteten Verwendung von «Grünsteinen»<sup>1)</sup> zu sehen, zu denen auch Kupferminerale zählen können. Die Verwendung dieses neuartigen Werkstoffes ist zweifels-ohne im Sinne einzelner, individueller Entdeckungen zu interpretieren und spielte für die Herstellung von Schmuck, Waffen und Geräten zunächst noch eine sehr untergeordnete Rolle. Die frühesten Kupferartefakte, die z. Zt. bekannt sind, stammen aus Çayönü Tepesi in Südostanatolien und datieren in das präkeramische Neolithikum ins ausgehende 8./7. Jahrtausend. Sie sind aus gediegenem Kupfer gefertigt. Später folgen Funde von Çatal Hüyük (6. Jahrtausend), wo vermutlich wie an anderen Orten des Vorderen Orients neben Kupfer auch Blei geschmolzen worden ist. Insgesamt lassen sich aber bis zum 4. Jahrtausend nirgends Anzeichen dafür erkennen, dass Kupfer und edlen Metallen wie Gold und Silber eine andere Rolle zukäme als die geschätzter Werkstoffe für Wertgegenstände. In diesen frühen Epochen der Jungsteinzeit waren immer noch Feuerstein und Obsidian die Werkstoffe des täglichen Lebens (Bild 1). Ihre Bedeutung ist, wie wir etwa in Ägypten nachvollziehen können, bis tief in die Bronzezeit hinein unverändert.

Die Bezeichnung Steinzeit geht zurück auf eine Nomenklatur, die im 19. Jh. im Zuge der Intensivierung prähistorisch-archäologischer Forschung zur Einteilung der menschlichen Kulturgeschichte vorgeschlagen wurde. Sie basiert auf dem jeweils vorherrschenden Material, das für die Herstellung von Werkzeugen, Waffen und Schmuck verwendet worden ist und resultierte in einem Drei-Periodensystem, das die Steinzeit (Paläolithikum und Neolithikum), die Bronzezeit und die Eisenzeit umfasst. In jüngerer Zeit wird versucht, auch die Übergangsphase zwischen Neolithikum und Bronzezeit, die durch die allmählich zunehmende Verbreitung von «Kupfer» gekennzeichnet ist, nomenklatorisch zu erfassen, wobei die Begriffsbestimmungen regional variieren. So hat sich in Mitteleuropa und auf dem Balkan für diesen Zeitraum der Begriff Kupferzeit (bzw., Äneolithikum) eingebürgert, deren bedeutendster Fundkomplex ohne Zweifel der ins 5./4. Jahrtausend datierte Friedhof von Varna an der Schwarzmeerküste mit seinen sensationellen Gold- und Kupferfunden ist. Er ist von herausragender wissenschaftlicher Bedeutung für die Ur- und Frühgeschichte von Südost- und Zentraleuropa.

Im Vorderen Orient dagegen hat sich, entsprechend dem Gebrauch von Metall- neben den noch vorherrschenden Steingeräten, weitgehend die Bezeichnung Chalkolithikum, d. h. Kupfersteinzeit, durchgesetzt.

Im Kaukasus dagegen warf das bereits sehr frühe Auftauchen von stark arsenhaltigem Kupfer seit dem 6. Jt. die Frage nach der Berechtigung auf, eine Kupfer-Arsenzeit zu definieren. Selimchanow (1977) sprach sich für eine solche Kupfer-Arsenzeit aus, die chronologisch zwischen einer Kupfer- und einer Bronzezeit liegen soll, in den verschiedenen kulturgechichtlichen Räumen aber zu unterschiedlichen Zeiten einsetzt. In der Zwischenzeit ist aber durch die Analysen an zahlreichen Artefakten belegt, dass «Arsenbronzen» und Kupfer oft zusammen nebeneinander vorkommen und dass «Arsenbronzen», wie etwa die

Funde vom Kaukasus belegen, noch lange verwendet wurden, als an anderen Stellen schon Zinnbronzen verarbeitet wurden. Die Definition einer Kupfer-Arsenzeit erscheint somit sehr fraglich; sie sollte zudem nur unter der Prämisse einer beabsichtigten Herstellung von «Arsenbronzen» erfolgen, wie im folgenden erläutert wird.

## II. Das Problem der «Arsenbronzen»: Beabsichtigt hergestellte Legierung oder Zufallsprodukt?

Die Unterscheidung zwischen «reinem» Kupfer und Legierungen auf Kupferbasis in der Archäometallurgie ist oftmals zweifelhaft. Vielfach enthalten alte Metallartefakte 5–10% Nebenbestandteile wie z. B. Arsen, Antimon, Nickel oder Blei, wobei nicht klar ist, ob diese eine natürliche Verunreinigung des Kupfers darstellen oder ein bewusst zugesetztes Legierungselement. Ohne Zweifel wurden in der frühgeschichtlichen Metallproduktion auch schnell die Vorteile und Unterschiede von «unreinem» Kupfer gegenüber dem «reinem» Kupfer erkannt, sowohl unter dem werkstoffkundlichen als auch unter dem ästhetischen Aspekt. Diese Erkenntnis hat sich sicherlich in einem selektiven Bergbau auf entsprechende Erze bzw. die bevorzugte Verwendung von Kupfer bestimmter Provenienzen niedergeschlagen. Kupfer mit wenigen Prozentsätzen an Nebenbestandteilen lässt sich leichter gießen und verarbeiten und hat bessere mechanische Eigenschaften (vor allem eine höhere Härte). Nicht zu unterschätzen sind aber auch die auftretenden Farbänderungen: Arsen- oder nickelhaltiges Kupfer unterscheidet sich durch einen weichen Silberglanz von der rötlichen Farbe des reinen Metalls.

Das Problem, «natürliche» von bewusst hergestellten Legierungen zu unterscheiden, hat sich besonders am Beispiel des arsenhaltigen Kupfers herauskristallisiert, das seit dem 4. Jahrtausend, besonders aber in der Frühbronzezeit, eine beträchtliche Bedeutung besass. Die Grenze zwischen natürlichem Arsenkupfer und Arsenbronze als bewusst hergestelltem Werkstoff wird bislang recht willkürlich im Bereich von 1 bis 2% As gezogen. Tatsächlich

jedoch sind in den letzten Jahren zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden, die einen natürlichen As-Gehalt in Kupferartefakten bis weit über 5% dringend nahelegen. Dies gilt sowohl für chalcolithische und frühbronzezeitliche Metallfunde im Orient als auch für Mitteleuropa. In Anbetracht dieser Problematik erscheint es ratsam, den lange verwendeten, irreführenden Begriff Arsenbronze (der ja die intentionelle Herstellung dieser Legierung beinhaltet) generell durch Arsenkupfer zu ersetzen, wie sich dies ja auch in der Archäologie sukzessive durchsetzt.

Bei der Analyse einiger lagerstättenkundlicher und hüttenmännischer Fakten werden die Ursachen dieses Disputes deutlich: Die Geochemie des Arsen ist besonders im Bereich oberflächennaher Vererzungen eng mit Kupfer verknüpft. So sind aus der Oxidationszone hydrothermaler Lagerstätten eine ganze Reihe von Kupferarsenaten bekannt, die sich farblich kaum von den reinen sekundären Kupfermineralien wie Malachit usw. unterscheiden. Aber auch in grösseren Teufen treten häufig sulfidische Kupfer-Arsen-Mischerze wie z. B. Enargit oder Fahlerze auf. In giedigenem Kupfer ist Arsen im Durchschnitt mit 740 ppm enthalten und kann maximal 5% erreichen (Rapp, 1982). Wohlbekannt in der Archäometallurgie sind auch die natürlich vorkommenden Legierungen Domeykit ( $\text{Cu}_3\text{As}$ ) und Algodonit ( $\text{Cu}_6\text{As}$ ) aus Talmessi im Iran.

Auch neue Erkenntnisse zur frühen metallurgischen Verfahrenstechnik tragen zu einem differenzierteren Verständnis des «Arsenproblems» bei. So erwies sich die weitverbreitete Annahme früherer Autoren als irrig, eventuelle Arsengehalte im Kupfererz würden sich bei der Verhüttung der Erze aufgrund der Leichtflüchtigkeit dieses Elementes (Siedepunkt 610 °C) verflüchtigen und hätten im Hüttenrauch die Gesundheit des Hüttenmeisters heftig attackiert. Dies trifft ohne Zweifel für den unter oxidierenden Bedingungen geführten Röstprozess sulfidischer Erze zu, nicht aber für pyrometallurgische Prozesse, bei denen oxidische Erze unter reduzierender Atmosphäre geschmolzen werden. Hier ist eine quantitative Überführung des Arsens in das Metall nachweisbar. Dies konnte erstmals Lorenzen (1965)

## Bibliographie

- Becker, B.; Krause, R. & Kromer, B.: Zur absoluten Chronologie der Frühen Bronzezeit. *Germania* 67/1989/421–442.
- Caneva, C. & Palmieri, A.: Metalwork at Arslantepe in Late Chalcolithic and Early Bronze Age I: The Evidence from Metal Analyses. *Origini XII*, 2/1983/637–654.
- Craddock, P. T. & Meeks, N. D.: Iron in Ancient Copper. *Archaeometry* 29/1987/187–204.
- Eaton, E. R. & McKerell, H.: Near Eastern alloying and some textual evidence for the early use of arsenical copper. *World Archaeology* 8, 2/1976/77/169–191.
- Hauptmann, A.: The Earliest Periods of Copper Metallurgy in Feinan/Jordan. In: A. Hauptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner (Hrsg.): *Old World Archaeometallurgy*, Der Anschliff, Beih. 7/1989/119–136.
- Hauptmann, A.: Kupfer und Bronzen der südost-arabischen Halbinsel. Der Anschliff 5–6/1987/209–218.
- Krause, R.: Der Beginn der Metallzeiten. In: D. Planck, *Archäologie in Württemberg*, Stuttgart 1988/111–139.
- Khalil L. & Bachmann, H. G.: Evidence of Copper Smelting in Bronze Age Jericho. *Journal Historical Metallurgical Society* 15, 2/1981/103–106.
- Lorenzen, W.: Helgoland und das früheste Kupfer des Nordens. Ottendorf 1965.
- Meeks, N. D.: Tin-rich Surfaces on Bronze – Some Experimental and Archaeological Considerations. *Archaeometry* 28, 2/1986/133–162.
- Merkel, J. F.: Reconstruction of Bronze Age Copper Smelting. Experiments Based on Archaeological Evidence from Timna, Israel. Ph. D. Univ. of London, 1983.
- Müller-Karpe, Michael: Neue Forschungen zur frühen Metallverarbeitung in Mesopotamien. In: Pernicka, E. & Wagner, G. A. (Hrsg.): *Archaeometry* 90. Basel 1990/105–116.
- Muhly, J. D.; Begemann, F.; Öztundali, Ö.; Pernicka, E.; Schmit-Strecker, S. & Wagner, G. A.: The Bronze Age

- Metallurgy of Anatolia and the Question of Local Tin Sources. In: Pernicka, E. & Wagner, G. A. (Hrsg.): *Archaeometry 90*, Basel 1990/209–220.
- Pigott, V.: The Iron Age in Western Iran. In: Wertime, T. A. & Muhly, J. D. (Hrsg.): *The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven & London 1980/417–462.
- Rapp, G.: Native Copper and the Beginning of Smelting: Chemical Studies. In: J. D. Muhly, R. Maddin, V. Karageorghis (Hrsg.): *Early Metallurgy in Cyprus, 4000–500 B. C.*, Nikosia 1982.
- Riederer, J.: Archäologie und Chemie. Ausstellungskatalog Staatl. Museen Preuss. Kulturbesitz, Berlin 1987.
- Selimchanov, I. R.: Zur Frage einer Kupfer-Arsen-Zeit. *Germania* 55/1977/1–6.
- Smith, C. S.: An Examination of the Arsenic-rich Coating on a Bronze Bull from Horoztepe. In: Application of Science in Examination of Works of Art. Hrsg.: Young, W. J., Museum of Fine Arts, Boston, Mass. 1973.
- Stech, T. & Pigott, V. C.: The Metals Trade in Southwest Asia in the Third Millennium B. C. *Iraq XLVIII/1986/39–64*.
- Tylecote, R. F., Ghaznavi, H. A. & Boydell, P. J.: Partitioning of Trace Elements Between the Ores, Fluxes, Slags and Metal During the Smelting of Copper. *Journal Archaeol. Science* 4/1977/305–333.
- Tylecote, R. F., Photos, E. & Earl, B.: The Composition of Tin Slags from the Southwest of England. *World Archaeology* 20, 3/1989/434–445.
- Yener, K. A.; Özbal, H.; Kaptan, E.; Pehlivan, A. N. & Goodway, M., Kestel: An Early Bronze Age Source of Tin Ore in the Taurus Mountain/Turkey. *Science* 244/1989/200–203.
- Zwicker, U.: Investigations on the Extractive Metallurgy of Cu/Sb/As Ore and Excavated Smelting Products from Norsun Tepe (Keban) on the Upper Euphrates (3500–2800 B.C.). In: Oddy, W. A. (ed.): *Aspects of Early Metallurgy*, British Museum Occasional Papers 17/1980/13–26.

durch Schmelzversuche unter primitiven Bedingungen zeigen. Später kamen u. a. Tylecote und Mitarbeiter (1977) sowie Merkel (1983) auf der Basis von umfangreichen Experimenten zur Simulation prähistorischer Hüttenverfahren zu denselben Ergebnissen.

Wie sich aus den Phasenbeziehungen im System Kupfer-Arsen ergibt, ist beim Gebrauch arsenhaltigen Kupfers weiterhin mit Seigerungseffekten zu rechnen, die zu einem inhomogenen Aufbau daraus hergestellter Artefakte führen können. Speziell die durch hohe Abkühlungsgradienten hervorgerufene inverse Segregation vermag beim Guss zu Anreicherungen von Arsen an der Oberfläche zu führen, was die bereits erwähnte «Versilberung» zur Folge haben könnte. Dieses Phänomen ist besonders schön z. B. an den frühbronzezeitlichen Vollgriffdolchen von Gaubickelheim entwickelt. Vermutlich ist hier auch der silberglänzende Stier von Horoztepe einzuordnen, dessen arsenreiche Oberfläche Cyril Stanley Smith vor einigen Jahren mit einem Aufdampfen von Arsenrauch interpretierte (Smith, 1973). Die «versilberten» Oberflächen von vielen weiteren Artefakten aus Ägypten, Anatolien, dem Kaukasus und den Kykladen wurden ganz ähnlich erklärt (eine Übersicht zu diesem Problem ist bei Eaton & McKerell, 1976/77, nachzulesen). Da die Seigerungseffekte zumindest im archäologischen Kontext lange Zeit missverstanden blieben, hat es hier in der Archäometallurgie erhebliche Verwirrung gegeben. Aus diesem Zwang heraus wurde deshalb vermutlich auch eine metallurgische Technik erfunden, für deren Existenz es in der Ur- und Frühgeschichte keine überzeugende Evidenz gibt. Diese Überinterpretation früher Technologie mag auch zu einer falschen Einschätzung des frühen Arsenkupfers geführt haben. In jedem Fall kann anhand der Seigerungseffekte deutlich gemacht werden, dass die richtige Ansprache des Arsengehaltes eines Artefaktes entscheidend von der Art der Probenahme abhängt sowie weiterhin auch von der Wahl der analytischen Methode!

Von besonderem Interesse für die früheste Verarbeitung von Arsenkupfer ist der Schatz von Nahal Mishmar, der in einer Höhle westlich des Toten Meeres gefunden wurde. Dieser aus

über 400 Metallartefakten bestehende Hortfund (über 120 kg Metall) datiert in das 5./4. Jahrtausend. Er wird als Schatz eines Händlers/Schmieds interpretiert, der u. a. Gegenstände für kultische Zwecke, Prestigegeräte und Werkzeuge aus verschiedenen, z. T. importierten Metallen herstellte. Analysen haben ergeben, dass die Kultobjekte aus Arsenkupfer (2–12% As) mit Gehalten an Antimon, Blei und Nickel hergestellt worden sind, während die für den praktischen Gebrauch bestimmten Geräte aus unlegiertem Kupfer bestehen. Für eine beabsichtigte Herstellung des Arsenkupfers gibt es hier keinerlei Anhaltspunkte. Auch die Nutzung der besseren mechanischen Eigenschaften dieser Legierung gegenüber reinem Kupfer ist völlig irrelevant, vielmehr zeigt sich ganz offenkundig, dass hier der ästhetische Aspekt, die silberscheinende Farbe der Legierung, im Vordergrund gestanden hat.

Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass es tatsächlich vereinzelte archäologische Funde von Arsenerzen in Zusammenhang mit Funden bronzezeitlicher Metallurgie gibt, so z. B. vom Arslan Tepe in Anatolien (Caneva & Palmieri, 1983), von Norsun Tepe (Zwicker, 1980) oder von Jericho (Khalil & Bachmann, 1981). Die Annahme, dass es sich hier um Exoten handelt, deren direkte Verwendung in der Kupfermetallurgie nicht gesichert ist, wird durch frühe Texte unterstützt: In der sumerischen wie in der akkadischen Sprache gibt es keine Termini für das Metall Arsen, das offensichtlich im alten Mesopotamien nicht bekannt war. Deshalb scheint es aufgrund dieser eher bescheidenen Evidenz zum jetzigen Zeitpunkt sehr unwahrscheinlich, eine beabsichtigte Zugabe von Arsenerzen zur Herstellung von Arsenkupfer als sicher anzunehmen.

### III. Die Bronzezeit: Revolution metallurgischer/ kultureller Entwicklung

Mit dem Beginn der «Frühbronzezeit» im 3. Jahrtausend setzt international eine dramatische technologische Entwicklung in der Metallverarbeitung ein. Wie auch in den anderen Epochen sind hier ebenfalls zeitliche Verschiebungen zwischen den einzelnen Kulturreisen im Vorderen Orient und in

Mitteleuropa zu verzeichnen: Während im Vorderen Orient die Frühbronzezeit etwa um die Wende 4./3. Jahrtausend einsetzt, datieren wir diese Epoche im Voralpengebiet in das ausgehende 3. Jahrtausend (Krause, 1988, vgl. hierzu auch die neuesten absolut-chronologischen Datierungen bei Becker et al., 1989).

Im Gegensatz zum Chalkolithikum, das im wesentlichen von einer Kupfermetallurgie geprägt war, tauchen jetzt alle Metalle in grösserer Menge auf, die dem Menschen damals bekannt waren: Gold, Silber, Elektrum und Blei und als dominierende Werkstoffe die Kupferlegierungen Arsenkupfer und Zinnbronze. Erstmals werden jetzt die Kupfererzlagerstätten im «industriellen» Massstab abgebaut und damit eine völlig neue wirtschaftliche Grundlage für die Verbreitung dieses Metalls geschaffen. Der Werkstoff Metall nimmt einen erheblichen und zugleich prägenden Anteil im Kulturgefüge ein. Diese wirtschaftlichen Änderungen sind zugleich mit tiefgreifenden Wandlungen im sozialen Gefüge verknüpft.

Im Nahen Osten setzt mit dem Beginn der Bronzezeit die Gründung von Städten im grossen Umfang ein, die mit dem Bau gewaltiger Befestigungen einhergeht und sich bis in die Wüstengebiete erstreckt. Überreste bergmännischer Aktivitäten über- und untertage wurden inzwischen an vielen Orten in der Alten Welt gefunden: im Alpenraum am Mitterberg (wohl eines der eindrucksvollsten Beispiele; hier wurde frühbronzezeitlicher Bergbau bis in eine Tiefe von 200 m nachgewiesen), in Graubünden, im Trentino, im Nahen Osten Fenan und Timna. Auch in Wales wurde umfangreicher bronzezeitlicher Bergbau nachgewiesen. Die systematische Erschliessung von Lagerstätten bereits in der frühen Bronzezeit geht möglicherweise mit einer revolutionären Neuentwicklung im Hüttenwesen Hand in Hand: In dieser Periode wurde vermutlich die Wirkung des Flussmittels, meist in Form von Eisenerz oder Quarz, für eine kontrollierte, beabsichtigte Schlackenbildung bei der Verhüttung erkannt und als technologisches Novum im grossen Massstab eingeführt. Hierdurch wurde es möglich, auch niedrigprozentigere Erze abzubauen und ein wesentlich grösseres Potential an Rohstoffen zu erschliessen. Grund

zu dieser Annahme sind einerseits Untersuchungen Craddocks (1987) an zahlreichen Metallartefakten, die erstmals in der Bronzezeit deutlich erhöhte Fe-Gehalte (0,2–0,3%) aufweisen. Andererseits wird dies auch durch Feldforschungen unterstützt: Im Kupfererzdistrikt von Feinan etwa ist zu belegen, dass die ersten Schlackenhalden nicht vor dem Beginn der Frühbronzezeit auftreten (Hauptmann, 1989). Die Überreste chalkolithischer Pyrometallurgie dagegen lässt die Verwendung mehr oder weniger reiner Erze erkennen, aus denen ohne Zusatz von Flussmittel geringe Mengen an Kupfer produziert worden sind.

## IV. Die voll entwickelte Bronzezeit

Bereits im 4. und im 3. Jahrtausend tauchen besonders an Fundstätten des Vorderen Orients vereinzelt Metallartefakte auf, die aus einem neuen Werkstoff gefertigt sind, nämlich aus Zinnbronze. In Ur scheint diese neue Legierung bereits zur Zeit der Königsgräber (Mitte 3. Jahrtausend) sogar das vorherrschende Metall gewesen zu sein (Müller-Karpe, 1990). Es ist dies offensichtlich eine Epoche, in der eine verstärkte metallurgische Experimentierfähigkeit einsetzte und Kupfer bewusst mit anderem Metall gemischt worden ist. Mit der Zinnbronze taucht eine neue Legierung auf, die sich schliesslich im beginnenden zweiten Jahrtausend in nahezu allen Kulturräumen von Mitteleuropa bis in den Orient durchsetzt. In unserem Kulturbereich lag ein Zentrum der Bronzezeit in Mitteldeutschland und in Böhmen, das unter der Bezeichnung Aunjetitzer Kultur bekannt ist. Zwar sind, vermutlich durch entsprechende Ressourcen bedingt, zu dieser Zeit noch gebietsweise zinnfreie Artefakte zu finden (etwa im Kaukasus, s. o.), doch erlangt jetzt die Zinnlegierung allgemeine Gültigkeit. Die Zinngehalte der antiken Bronzen wechseln zwischen < 1 % bis 25%, im Durchschnitt liegen sie aber bei 10% (Bild 2). Darüber wird die Legierung deutlich spröder und nicht mehr schmiedbar. Durch den Zusatz von 10% Zinn wird der Schmelzpunkt des Kupfers (1083 °C) um rund 150 °C gesenkt, so dass die Giessfähigkeit beträchtlich erhöht wird. Objekte aus reinem Zinn sind ebenso wie die Funde von Zinnbarren sehr

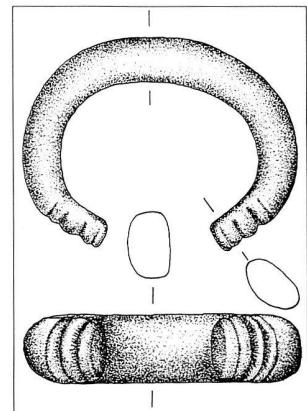


Bild 2a: Bronzearmreif aus dem Hortfund von Iibri/Selme (DA 3699), leicht verkleinert. Dieser Typ von Armreif wird in das 1. Jahrtausend datiert. Es handelt sich um eine Zinnbronze mit 11% Zinn. Typisch für die Metalle der südostarabischen Halbinsel ist ein Nickelgehalt von 0,5% (aus HAUPTMANN, 1987).



Bild 2b: Mikrogefüge desselben Armreifes. Das Gefüge zeigt, dass die Zinnbronze nach dem Guss geschmiedet und anschliessend nochmals auf mindestens 500 °C erhitzt worden ist, um die endgültige Form zu erreichen. Hierdurch wurde eine Rekristallisation des ursprünglichen Gussgefüges im festen Zustand hervorgerufen. Zu erkennen sind kleine Einschlüsse von Kupfersulfid, die auf eine Herstellung der Bronze aus sulfidischen Erzen deutet. Massstab: 0,1 mm. Auflicht, geätzt mit Eisenchlorid.

selten, da sich das Metall leicht zerstört (s. u.). Eine Zusammenstellung der bekannten Funde ist in Riederer, 1987, wiedergegeben.

Zinn wurde jedoch ebenso wie noch heute zur Oberflächenbehandlung von Kupfer-/Bronzegegenständen genutzt. Die frühesten Funde datieren hier in das 5. Jh. v. Chr. (vgl. Zusammenstellung bei Meeks, 1986). Später tauchen vermehrt verzinnte etruskische und griechische Spiegel auf. In römischer Zeit finden verzinnte Bronzen weite Verbreitung im militärischen Bereich (Helm) und im Haushalt (Kochtöpfel). Die früheste historische Referenz zum Verzinnen findet sich bei Plinius (*Naturalia historia*).

Trotzdem, vielleicht auch gerade weil die Zinnbronze als dominierendes Metall der Alten Welt in ungeheuren Massen produziert worden sein muss, ist ihre Herstellung mit einer ganzen Reihe von Problemen behaftet, die unter dem Terminus «Zinnproblem» lebhaft und kontrovers in der Literatur diskutiert worden ist und diskutiert wird. Dieses «Zinnproblem» hat sich zumindest unter dem Aspekt der Suche nach möglichen Rohstoffquellen als Scheinproblem erwiesen. Wenn auch nach dem jetzigen Stand der Forschung ein geochemisches oder isotopisches «fingerprinting» einzelner Zinnlagerstätten für Provenienzstudien ein Problem ist, so gibt es doch in der Alten Welt genügend Zinnvorkommen, die eine weitgehende Rohstoffversorgung für die Bronzezeit ermöglicht haben können. Neben den be-

rühmten Vorkommen in Cornwall und der Bretagne, die als Quellen für die Bronzemetallurgie des Voralpenlandes diskutiert werden (Krause, 1988), sind vor allem die Zinnlagerstätten der Iberischen Halbinsel, des Massif Central, Italiens sowie die Zinnprovinz des sächsisch-böhmisches Raumes (Erzgebirge, Fichtelgebirge, Sudeten-gau) zu nennen. Ob diese Lagerstätten auch in das Handelsnetz des Nahen und des Mittleren Ostens mit einbezogen waren, ist nicht auszuschliessen, doch scheinen zumindest für Mesopotamien Handelswege zu den Zinnlagerstätten in Afghanistan bestanden zu haben (Stech & Pigott, 1986). Neuerdings erregte die angebliche Entdeckung von bronzezeitlichen Zinngruben im Taurusgebirge in Anatolien (Yener et al., 1989) grosses Aufsehen, jedoch ist deren Identität heftig umstritten (Muhly et al., 1990).

Die Frage, ab welchem Zinngehalt mit einer intentionellen Legierung zu rechnen ist, lässt sich im allgemeinen deutlicher beantworten als im Falle des Arsenkupfers. Zinn und Kupfer treten in der Natur nur in sehr seltenen Fällen zusammen auf. Die Untersuchung von 366 Erzproben aus aller Welt hat nur in sieben Fällen natürliche Zinnkonzentrationen von mehr als 0,05% ergeben (Rapp, 1982). Man kann deshalb davon ausgehen, dass lediglich bei Artefakten mit Zinngehalten unter 1% eindeutige Aussagen schwierig sind. Hier werden Detailinformationen über die Rohstoffbasis erforderlich. Laut keilschriftlicher Überlieferung aus Ebla können auch Zinnanteile von weniger als 1% beabsichtigte Zusätze sein (Müller-Karpe, 1990).

Worin liegen nun die Schwierigkeiten der «Zinnforschung»?

- Früher Bergbau auf Zinnerze ist schwer nachweisbar. Obwohl nach der kritischen Bestandsaufnahme von möglichen früh genutzten Zinnvorkommen eine ausreichende Anzahl von Ressourcen verfügbar ist, fehlt noch immer die Feldevidenz des frühen Abbaus. Dies liegt ohne Zweifel zum einen an der späteren industriellen Überprägung oder Zerstörung früher Bergbauspuren, zum anderen müssen wir davon ausgehen, dass die Spuren einer Nutzung der sehr verbreiteten Seifenlagerstätten naturgemäß sehr

*Bild 3: Einer der grössten frühgeschichtlichen Kupferverhüttungsplätze im Nahen Osten ist das im Gebiet von Fenan/Wadi Araba gelegene Khirbet en-Nahas, übersetzt «Die Ruinen des Kupfers». Dieses vermutlich staatlich gelenkte Hüttenrevier ist beredter Beweis für die Kupferproduktion, die in der Eisenzeit im Vorderen Orient in industriellem Massstab betrieben wurde. Hier wurde das Metall in der Grössenordnung von mehreren tausend Tonnen gewonnen.*



- schnell durch Erosionsvorgänge wieder beseitigt worden sind.
- Die Fundarmut an Zinnbarren findet eine mögliche Erklärung auch in der sog. Zinnpest: Das gewöhnliche weisse Zinn ( $\beta$ -Sn) zersetzt sich bei tiefen Temperaturen (unterhalb 13,2 °C) unter Volumenzunahme zu grauem Zinn ( $\alpha$ -Sn), das zu einem Pulver zerfällt. Dies könnte durchaus zur Zerstörung von Zinnartefakten in archäologischen Zeiträumen geführt haben. Andererseits ist durch die häufiger beobachteten Blei- oder Antimongehalte in Zinnartefakten nicht auszuschliessen, dass man in der Bronzezeit die Wirkungsweise von sog. Inhibitoren erkannt hat, die eine Zersetzung des Zinns verlangsamen bzw. verhinderten.
  - Schlackenfunde als Zeugnisse früher Verhüttung von Zinnerzen sind ausserordentlich selten und entsprechen in keiner Weise der zu erwartenden Menge an Zinn, die in der Bronzezeit zur Herstellung der Zinnbronzen erforderlich war (Tylecote et al., 1989).

Kontrovers diskutiert wird seit langem die Herstellung der Zinnbronze, für die es im Prinzip drei Möglichkeiten gibt:

1. Zugabe von Kassiterit ( $SnO_2$ ) zu flüssigem Kupfer,
2. Zusammenschmelzen oxidischer Kupfererze und Kassiterit,
3. Zusammenschmelzen von Kupfer und Zinn.

Nach den allmählich zunehmenden Funden bronzezeitlicher Zinnbarren in jüngerer Zeit – hier sind vor allem die mit Kupfer- und Zinnbarren beladenen Schiffswracks von Ulu Burun und Cape Gelidonya an der türkischen Südküste sowie die Funde von Zinnbarren vor der Küste bei Haifa und Südfrankreichs von grossem wissenschaftlichem Interesse – wird von der Forschung zunehmend die letzte Alternative als gängigste Methode favorisiert.

## V. Das Ende der Bronzezeit

Nomenklatorisch wird die Bronzezeit sowohl in Europa als auch im Vorderen Orient am Ende des 2. Jahrtausend von der Eisenzeit abgelöst. Auch hier wird wieder deutlich, dass die archäologische Bezeichnung der Epochen nach Metallen nicht glücklich gewählt ist. Sie charakterisiert einschneidende

kulturelle Entwicklungen, nicht jedoch metallurgische. Die Feststellung Pigotts (1980) zur frühen Eisenzeit (I) Irans: «There is no iron in the iron age», ist markant und verdeutlicht die Problematik. Gerade in der Eisenzeit im ersten Jahrtausend, als sich das Eisen erst zögerlich zu verbreiten beginnt, setzt an etlichen Kupfererzdistrikten in der Alten Welt ein ausgesprochener Boom auf dieses Metall ein, der sicherlich im Rahmen grossangelegter staatlicher Organisation gesehen werden muss. Schlackenhalden in der Größenordnung von 100 000 Tonnen und mehr, wie sie durch Feldforschungen in Zypern, Fenan (Bild 3) und in Oman nachgewiesen werden konnten, belegen eindrucksvoll, dass Kupfer bzw. Bronze bei weitem nicht durch das «neue» Metall Eisen verdrängt werden, sondern dass im Gegenteil der Gebrauch von Bronze in voller Blüte steht. In der Antike war eine grosse Zahl von Legierungen des Kupfers mit Zinn, Blei, Nickel und Zink bekannt, für deren Charakterisierung der allgemein übliche Begriff «Bronze» in der Regel nicht mehr ausreicht. Die Gründe für die Weiterentwicklung der Bronzemetallurgie sind von werkstoffkundlichen Überlegungen her durchaus einsichtig: Kupfer und Bronze sind aufgrund ihrer niedrigen Schmelzpunkte die Metalle, die sich zum Guss hervorragend eignen. Nicht nur die vielen bekannten bronzenen Grossstatuen im Mittelmeerraum (Bild 4), sondern auch die Verbreitung von Geräten und Schmuck in der Alten Welt sind ein überzeugender Beweis für die Blütezeit des Bronzegiessens in der Eisenzeit.

Eisen dagegen konnte mit den damals zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten in der Alten Welt nicht als flüssiges Metall, sondern nur im festen Zustand dargestellt werden. Die erforderliche Weiterverarbeitung in der Schmiede bis zum fertigen Artefakt war kompliziert. Da erst die kontrollierte Herstellung von Stahl einen Werkstoff hervorbrachte, welcher der Bronze wirklich überlegen war, dauerte es bis zur Zeitenwende, bis sich dieses Metall endgültig als Werkstoff des täglichen Lebens durchsetzen konnte.



Bild 4: Im ersten Jahrtausend entwickelte sich die Bronzemetallurgie zur Hochblüte. Das hohe technische Know-how, insbesondere der Gusstechnik, fand seinen Niederschlag vor allem in der Herstellung zahlreicher Grossstatuen, wie sie etwa aus der Antike im Mittelmeerraum bekannt sind. Als Beispiel hierfür sei einer der Krieger von Riace gezeigt, eine griechische Grossbronzestatue aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. Sie wurde an der Kalabrischen Küste gefunden und ist heute in Florenz ausgestellt.

### Abbildungsnachweis:

- Abb. 1–3: Deutsches Bergbau-Museum Bochum.  
 Abb. 4: H. Born, Museum für Vor- und Frühgeschichte, Staatliche Museen Preussischer Kulturbesitz, Berlin.