

# 2

## Das erste Kupfer

Kupferminerale waren dem Menschen schon früh bekannt, insbesondere die intensiv gefärbten Minerale Malachit und Azurit. Der erste sporadische Gebrauch von gediegen Kupfer, also natürlich vorkommendem Metall, ist aus dem Nahen Osten dokumentiert; er begann bereits zu Beginn des Neolithikums. Im anschließenden Chalkolithikum (Kupferzeit) wurden bereits viele grundlegende Bearbeitungsprozesse entwickelt und immer komplexere Objekte hergestellt, dennoch blieben Steinwerkzeuge wesentlich wichtiger. Erst in der Bronzezeit erreichten Metalle eine größere gesellschaftliche Bedeutung. Die langsame Adaption des Materials und die Entwicklung der grundlegenden Verarbeitungsverfahren zogen sich über mehrere Jahrtausende hin.

### 2.1 Die Anfänge in der Steinzeit

Im Paläolithikum (Altsteinzeit) entwickelten Menschen eine beeindruckende Geschicklichkeit in der Bearbeitung von Steinen, aus denen Klingen und Faustkeile geschlagen wurden. Feuerstein (auch Flint, Silex oder Chert genannt) und andere mikrokristalline  $\text{SiO}_2$ -Varietäten wie Achat, Jaspis und Karneol standen im Zentrum der steinzeitlichen Technologie. Sie sind hart und lassen sich zu scharfen Klingen verarbeiten. Im Verlauf der Steinzeit wurden unterschiedliche Techniken zur Herstellung von Steinklingen verwendet, sodass diese anhand ihrer Form zeitlich eingeordnet werden können. Vereinzelt begannen Menschen bereits im Jungpaläolithikum mit dem unterirdischen Bergbau. In Ägypten wurde eine Grube mit einem kurzen Stollen ausgegraben, der Abbau von Feuerstein unter Tage begann dort bereits im Jungpaläolithikum vor 33.000 Jahren (Vermeersch et al. 1984).

Neben Steinen, die zur Verarbeitung zu Klingen und Beilen geeignet waren, nutzten Menschen damals auch andere Materialien wie Knochen und Elfenbein. Außerdem sammelten sie Gegenstände, die sie schön fanden, wie Muscheln oder bunte Steine, und sie verwendeten farbige Minerale als Farb-

pigmente. In der sogenannten Oxidationszone von Kupferlagerstätten, die sich nahe der Oberfläche über den primären Erzen ausbildet, finden sich attraktiv gefärbte Minerale, insbesondere der intensiv grüne Malachit und der azurblaue Azurit, die bereits zum Ende des Paläolithikums als Farbpigment genutzt wurden.

Zum Ende der letzten Kaltphase der Eiszeiten setzte vor etwa 11.600 Jahren ein schneller Klimawandel ein, der neue Bedingungen für den Menschen schuf. Im sogenannten Fruchtbaren Halbmond, der Region, die sich vom Persischen Golf über Mesopotamien (das „Zweistromland“ mit Euphrat und Tigris, heute Irak und angrenzende Regionen), über die Südtürkei und Syrien bis nach Israel zieht, hatte zu dieser Zeit bereits der langsame Wandel von Jägern und Sammlern zu sesshaften Bauern begonnen. Damit trat die Menschheit in das Neolithikum (Jungsteinzeit) ein.

Die ersten größeren Siedlungen gab es bereits im 10. Jahrtausend v. Chr., darunter Jericho im Jordantal und Çayönü Tepesi (Türkei) am Südrand des Taurusgebirges. In Göbekli Tepe (Türkei) entstand die erste große Tempelanlage. In den folgenden zwei Jahrtausenden begann man am oberen Euphrat, wilde Gräser anzubauen, und die ersten Hirten zogen mit Schafen und Ziegen durch das Zagrosgebirge. In diesen Zeitraum fällt bereits der erste sporadische Gebrauch von gediegen Kupfer und Kupfererzen als Schmuck, was allerdings ein Randphänomen blieb.

Zunächst war im Neolithikum aber die Ausbreitung von Obsidian als Werkstoff wichtiger. Dabei handelt es sich um ein natürliches Glas, das entsteht, wenn  $\text{SiO}_2$ -reiches Magma mit geringem Gasgehalt als zähflüssige Masse aus einem Vulkanschlot gepresst wird. Klingen aus Obsidian sind noch schärfer als Feuersteinklingen, allerdings auch zerbrechlicher. Da Obsidian nicht sehr verbreitet ist, kann die Herkunft einer Obsidianklinge anhand der Zusammensetzung des Materials ermittelt werden. Daher wissen wir, dass Obsidian zum Teil Hunderte von Kilometern von den Vorkommen entfernt verwendet wurde; es muss also bereits einen entsprechenden Fernhandel gegeben haben.

Die ältesten Funde von Schmuckperlen aus dem grünen Kupfermineral Malachit stammen aus dem Proto-Neolithikum, ganz zu Beginn der beschriebenen Umwälzung. Fundstätten aus dem 11. bis 9. Jahrtausend sind Rosh Horeshe (Israel), die Shanidar-Höhle im irakischen Teil des Zagrosgebirges und mehrere Orte in Anatolien. Ein bekannter früher Fund aus der Shandidar-Höhle ist ein Anhänger aus Malachit aus dem 9. Jahrtausend. Da in derselben Schicht auch Obsidianklingen gefunden wurden, die vom Vansee in Ostanatolien stammen, könnte es sich bei dieser Malachitperle um einen Import aus Anatolien handeln (Yener 2000). Im Gegensatz zum Paläolithikum, in dem Steine mit unterschiedlichen Farben genutzt wurden,

scheinen Menschen während der ersten Entwicklung der Landwirtschaft im frühen Neolithikum grüne Steine bevorzugt haben (Bar-Yosef Mayer und Porat 2008): Weitere Ausgrabungen förderten auch Perlen aus anderen grünen Mineralen zutage, die zum Teil ebenfalls aus größerer Entfernung stammen müssen. Vermutlich förderte die Suche nach grünen Mineralen irgendwann das erste elementare Kupfer zutage. Nach Roberts et al. (2009) ist hier der Beginn der Metallurgie Eurasiens zu sehen, der demnach auf das Bedürfnis der frühesten Landwirtschaft betreibenden Gemeinschaften im Fruchtbaren Halbmond zurückging, sich in Leben und Tod mit farbigen Mineralen und natürlich auftretenden Metallen zu schmücken. Von hier ausgehend habe sich die Idee, Metalle zu verwenden, in ganz Eurasien ausgebreitet, die weitere Entwicklung der Technologie sei dann jedoch unabhängig an vielen Orten betrieben worden.

Die ältesten bekannten Metallartefakte, ab dem 9. Jahrtausend v. Chr., fanden Archäologen an mehreren Orten in Zentral- und Ostanatolien (Türkei) und in Zawi Chemi (nahe der Shandihar-Höhle) im Irak. Aus dem frühen 7. Jahrtausend stammen Perlen, Nadeln und Aalen von Ali-Kosh (Iran), die jedoch zusammen mit Obsidian aus Anatolien gefunden wurden, es könnte sich somit auch hierbei um einen Import handeln (Thornton 2009). Im 6. Jahrtausend tauchen weitere vereinzelt Kupferartefakte in Persien, in Mesopotamien, in Anatolien und auf dem Balkan auf. Perlen und Farbpigmente aus Malachit und Azurit sind ebenfalls verbreitet.

Zu den wichtigsten frühen Fundorten zählt die bereits genannte Siedlung Cayönü Tepesi, die in der Türkei unweit von Diyarbakir am Fuß des Taurusgebirges am Rand der Ebene Mesopotamiens lag. Nicht weit entfernt befindet sich im Taurusgebirge die große Kupferlagerstätte Ergani Maden, die vermutlich zu den am frühesten ausgebeuteten Kupferminen zählt; es gibt aber in der Umgebung noch weitere Kupferlagerstätten. In Cayönü Tepesi wurden Hunderte Kupferobjekte und Tausende Objekte aus Kupfermineralen aus der Zeitspanne vom 9. bis zum 7. Jahrtausend v. Chr. entdeckt, darunter Folien, Aalen, Haken, Draht und Schmuckperlen (Stech 1999; Yener 2000).

Die Kupferbearbeitung erfolgte zu dieser Zeit meist nur durch kaltes Hämmern und Rollen, man bearbeitete das neue Material also so, wie man es mit Steinen gewohnt war. Bei einzelnen Folien deutet die verheilte Struktur im Kupfer sogar darauf hin, dass es im Feuer auf mehrere Hundert Grad erhitzt wurde. Dabei rekristallisiert die Metallstruktur, durch Hämmern gehärtetes Metall wird weniger spröde, allerdings auch weicher. Auch das Erhitzen war durchaus noch neolithische Technologie, man brannte auch Flint, um seine Eigenschaften zu verbessern. Geschmolzen und gegossen wurde das Metall jedoch noch nicht.

Solche Details ergeben sich aus einer Untersuchung des Metallgefüges, denn die Kristallite können sehr unterschiedlich geformt und angeordnet sein. Sowohl in der Natur vorkommendes elementares als auch gegossenes und anschließend erstarrtes Kupfer hat charakteristische, sehr gleichmäßige Gefüge. Beim Hämmern verformen sich die Kristallite zu Plättchen und bilden ein Gefüge, das an Schiefer erinnert. Dadurch wird das Metall härter, aber zugleich auch spröde, und es ist damit weniger gut zu bearbeiten. Dieser Effekt kann durch Erhitzen („Anlassen“) teilweise rückgängig gemacht werden, da die Kristallite dabei rekristallisieren und das Gefüge sich entspannt. Schmiede können die unterschiedlichen Eigenschaften von gehärtetem und verheiltem Metall gezielt ausnutzen.

Im 7. Jahrtausend verbreitete sich im Nahen Osten die Verwendung von Keramik und läutete dort das keramische Neolithikum ein. Mit dem Töpferofen begannen Menschen, Feuer bewusst technologisch einzusetzen. Allerdings sind die Unterschiede zur Verhüttung von Erzen groß, wahrscheinlich kann der Töpferofen nicht als direkter Vorläufer der Verhüttungsöfen angesehen werden (Craddock 2000). Die Verhüttung von Kupfererz erfordert etwas höhere Temperaturen, aber vor allem auch reduzierende Bedingungen und den Einsatz von Holzkohle. Wir werden sehen, dass die Verarbeitung von Erz nicht mit Öfen begann, sondern in kleinen Keramiktiegeln. Für die Metallurgie dürfte demnach Keramik als technischer Werkstoff wichtiger gewesen sein als der Töpferofen.

In der Türkei wuchs in diesem Jahrtausend Çatal Hüyük, in Zentralanatolien nahe Konya gelegen, zu einer Stadt heran, in der mehrere tausend Menschen lebten. Es gab keine Straßen, die aus Lehm gebauten Häuser erreichte man mit Leitern über die Flachdächer. Arbeitsteilung war in dieser Stadt von Bauern und Kleintierhaltern noch nicht entwickelt, und es gab auch keine öffentlichen Gebäude: Es handelte sich eher um eine dicht gedrängte Ansammlung von einzelnen Bauernhöfen. Wie viele frühgeschichtliche Siedlungen war sie über einen sehr langen Zeitraum bewohnt, und Archäologen konnten mehrere übereinanderliegende Siedlungsschichten ausgraben. Auch hier stießen sie immer wieder auf Kupferminerale, Bleiminerale und auf kleine Objekte wie Nadeln, Folien und Fingerringe aus Kupfer. In den Gräbern mehrerer Schichten fanden sich Skelette, die mit Pigmenten aus Azurit oder Malachit gefärbt waren. In einem Grab lagen Textilien, die mit einem dünnen Kupferdraht bestickt waren. Ein besonders spannender Fund sind Kupferschlacken aus der auf 6500 v. Chr. datierten Schicht VI. Es könnten die Reste erster Experimente in der Verhüttung von Kupfererzen sein, was jedoch umstritten ist. Vielleicht handelt sich nur um Krusten aus Tiegeln, in denen gediegen Kupfer geschmolzen wurde, das mit der angeschmolzenen Keramik zu Schlacke reagierte? Das Aufschmelzen von Kupfer wäre allerdings

ebenso revolutionär. Die Entstehung der Schlacken könnte aber auch ohne das Zutun der Menschen auf einen verheerenden Brand zurückgehen, der diese Siedlungsschicht zerstörte. Trotz der Einwände sind einige Forscher noch immer überzeugt, hier die Reste der frühesten Kupferverhüttung zu sehen, so ist die Zusammensetzung der Schlacken sehr ähnlich wie bei Funden aus späterer Zeit (Yener 2000; Hauptmann 2007). Falls es sich wirklich um die Erfindung der Kupferverhüttung handelte, scheint dieser Erfolg ein Einzelfall gewesen zu sein, der kaum Auswirkungen hatte. Es musste ein weiteres Jahrtausend verstreichen, bis die Kupferverhüttung so intensiv einsetzte, dass ihre Spuren eindeutig sind. Das geschah allerdings in großer Entfernung zu Çatal Hüyük. Diese bahnbrechende Innovation markiert den Beginn einer neuen Ära, die je nach Region als Kupfersteinzeit oder Chalkolithikum (Kupferzeit) bezeichnet wird.

## 2.2 Verhüttung von Kupfererzen

Die „oxidischen“ Kupferminerale – neben dem relativ seltenen Kupferoxid Cuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) vor allem die häufigen Kupferkarbonate Malachit ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ) und Azurit ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ) – waren vermutlich die ersten Kupfererze der Geschichte: Zum einen kommen sie nahe der Erdoberfläche vor und sind auffällig gefärbt, zum anderen lassen sie sich in einem Tiegel oder Ofen leicht mit Holzkohle verhütten. Die Holzkohle besteht überwiegend aus Kohlenstoff (C), beim Verbrennen reagiert sie mit Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) aus der Luft zu Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), das wiederum mit der Kohle zu Kohlenmonoxid (CO) reagiert. Da es sich bei Kohlenmonoxid um ein potentes Reduktionsmittel handelt, entstehen im Ofen reduzierende Bedingungen. Das Erz kann durch Kohlenmonoxid zu Metall reduziert werden. Vereinfacht (stöchiometrisch nicht korrekt) läuft folgende Redoxreaktion ab:

Kupferkarbonat + Kohlenmonoxid  $\rightarrow$  metallisches Kupfer + Kohlendioxid

Die Kupferkarbonate Malachit und Azurit sind sehr rein, lassen sich leicht von anderen Mineralen trennen, und das im Ofen entstehende Kohlendioxid entweicht gasförmig. Aus diesen Gründen entsteht bei dieser Reaktion ein sehr reines Kupfer, und es fällt nahezu keine Schlacke an. Daher ist es schwer, Spuren der frühen Verhüttung zu finden. Der Prozess läuft bereits bei Temperaturen um  $700^\circ\text{C}$  im festen Zustand ab, deutlich effektiver ist die Reaktion im geschmolzenen Zustand ab etwa  $1100^\circ\text{C}$  (Radivojevic et al. 2010).

Die wesentlich häufigeren Sulfide lassen sich hingegen nicht mit Kohlenmonoxid reduzieren. Geben wir Erz mit Mineralen wie Covellin ( $\text{CuS}$ ) und Chalkosin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) in den Ofen, bildet sich lediglich eine Sulfidschmelze, die wiederum als ein künstliches Sulfid erstarrt, das als „Kupferstein“ oder aus

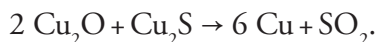
dem Englischen als Matte bezeichnet wird. Daher ist ein weiterer Schritt notwendig: Das Erz oder die Matte wird geröstet – so nennt man das Erhitzen der Erze an der Luft, auf einer Art Scheiterhaufen oder in einem offenen Ofen. Dabei kommt es zur Umwandlung der Sulfide zu Metalloxiden und Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), wobei Energie freigesetzt wird. Oft wird in einem ersten Schritt aus dem Erz eine Matte erschmolzen, da diese reiner ist als das Erz und einen höheren Kupfergehalt hat. Erst diese wird geröstet. Es läuft folgende Reaktion ab:



Natürlich ist es problematisch für die Umwelt, wenn das Schwefeldioxid in größeren Mengen in die Atmosphäre entweicht, da es sich mit Wasser zu Schwefelsäure verbindet, die als saurer Regen den Wäldern zusetzt. In modernen Werken wird das Gas zu Schwefelsäure umgewandelt, die verkauft werden kann. Noch problematischer ist das Rösten von arsenhaltigen Erzen, weil dabei giftiges  $\text{As}_2\text{O}_3$ -Gas entsteht. Das Rösten von Sulfiden wurde vermutlich in der Bronzezeit erfunden.

Häufiger als reine Kupfersulfide sind eisenhaltige Kupferminerale wie Chalkopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ) und Bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ). Bei diesen muss auch noch das enthaltene Eisen entfernt werden. Man erhitzt das Erz in einem Ofen zusammen mit Quarzsand ( $\text{SiO}_2$ ) und Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) auf  $1100^\circ\text{C}$  und führt Sauerstoff hinzu. Dabei oxidiert das Fe (II) zu Fe(III) und reagiert mit dem Sand und Kalk zu einer flüssigen Schlacke, die zu dunklen Klumpen erstarrt und dann eisenreiche Silikate enthält. Das Kupfer (II) reduziert gleichzeitig zu Kupfer (I) und fließt als  $\text{Cu}_2\text{S}$ -Schmelze ab. Diese Kupfermatte kann in einem weiteren Schritt zu  $\text{CuO}$  geröstet werden. Bei der Erzeugung von einer Tonne Kupfer aus reinem Chalkopyrit entstehen 1,5 t Schlacke und 2 t Schwefeldioxid. Da häufig Silikatgesteine mit fein verteiltem Chalkopyrit verarbeitet werden und die Silikatminerale ebenfalls zur Schlacke beitragen, kann es auch deutlich mehr Schlacke sein.

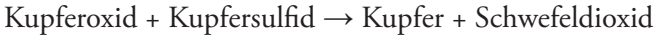
Der letzte Schritt, die Reduktion des Kupferoxids zu Kupfer, könnte wiederum wie bei den oxidischen Erzen mit Kohlenmonoxid ablaufen. Man nutzt aber eine exotherme und damit energiesparende Reaktion, indem man in einem Konverter (einem großen Tiegel) das Kupferoxid mit weiterer Kupfermatte reagieren lässt:



Diese Reaktion kann mit dem Rösten zusammengefasst werden. Wenn man geschmolzene Kupfermatte in einen Konverter gibt und Sauerstoff in die Schmelze bläst, laufen beide Reaktionen gleichzeitig ab und erzeugen ausreichend Energie, um den Inhalt geschmolzen zu halten. Es entsteht unrei-

nes Kupfer, das in modernen Werken noch zu reinem Kupfer raffiniert wird. Das ebenfalls gebildete Schwefeldioxid kann vollständig aufgefangen und zu Schwefelsäure verarbeitet werden.

Die zuletzt genannte Reaktion ähnelt einer weiteren Möglichkeit der Kupferverhüttung, dem *co-smelting* einer Mischung von oxidischen und sulfidischen Erzen ohne den Umweg über das Rösten (Lechtman und Klein 1999):



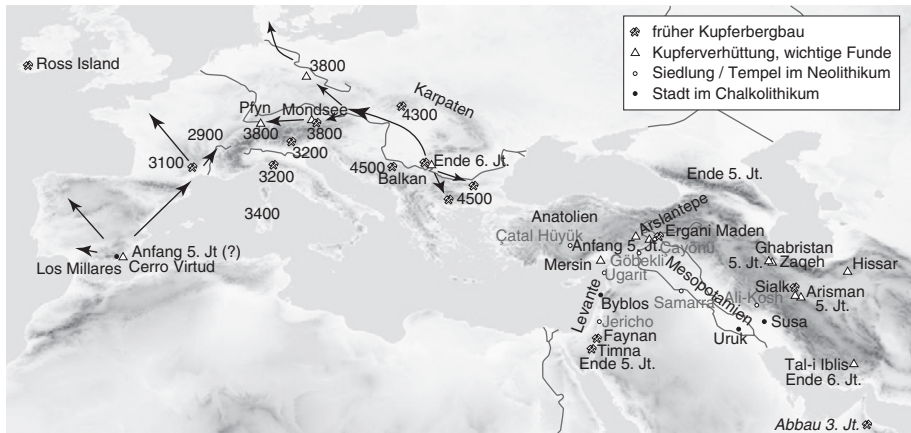
Nach den ersten Anfängen mit reinem oxidischem Erz war dies wohl im Altertum lange Zeit der wichtigste Prozess. Da das sulfidische Erz meist auch eisenhaltige Sulfide und diverse Minerale wie Quarz enthält, bildet sich eine Schlacke, die auch andere Verunreinigungen aufnimmt. Je nach Zusammensetzung des Erzes sollte entweder Quarz oder Eisenoxid zusammen mit weiteren Stoffen zugegeben werden, damit die geschmolzene Schlacke möglichst dünnflüssig ist und sich gut vom Metall trennt.

## 2.3 Kupferzeit in Osteuropa und im Nahen Osten

Soweit aus bisherigen Funden zu rekonstruieren ist, wurde die Kupferverhüttung auf dem Balkan wohl kurz vor 5000 v. Chr. von der Vinča-Kultur im heutigen Serbien (Radivojevic et al. 2010) und etwa gleichzeitig in Persien in Tal-i Iblis (Pigott 1999) entwickelt. Die dabei erzeugte Metallschmelze goss man nun auch erstmals in einfache Formen. Wenig später folgten im frühen 5. Jahrtausend Anatolien (Yalcin 2000) und (wo die Datierung aber umstritten ist) Cerro Virtud bei Almeria im weit entfernten Spanien (Ruiz-Taboada und Montero-Ruiz 1999), im späten 5. Jahrtausend auch die südliche Levante (Israel, Jordanien). Es ist offensichtlich, dass die Kupferverhüttung in mehreren Zentren unabhängig voneinander entstand und sich von diesen aus weiter ausbreitete (s. Abb. 2.1). Nomaden dürften eine wichtige Rolle bei der weiteren Verbreitung des Wissens gespielt haben. Auf dem Balkan und im Nahen Osten entspricht das Chalkolithikum (Kupferzeit oder Kupfersteinzeit) ungefähr dem 5. und 4. Jahrtausend. In Mitteleuropa ging es erst deutlich später los (s. Abschn. 3.6).

Eine weitere bedeutende Innovation in diesem Zeitraum war das Aufkommen von Kupferlegierungen, insbesondere der Arsenbronze (s. auch Abschn. 2.4). In Persien und in Anatolien nutzte man schon früh auch arsenhaltige Kupfererze: Die Kupferobjekte enthalten etwas Arsen in schwankenden Mengen. Anfangs geschah dies sicherlich nicht in der Absicht, eine Legierung zu erzeugen, sondern zufällig, weil die entsprechenden Erze lokal vorhanden waren. Mit der Zeit erkannten die Menschen, dass sich die Qualität des Metalls dadurch verbessern ließ, und suchten nach geeigneten





**Abb. 2.1** Spuren der frühesten Kupferverhüttung und des Kupferbergbaus im Nahen Osten und in Europa

Mischungen aus Arsen- und Kupfermineralen. Bereits im späten 5. Jahrtausend gab es in Anatolien und in Persien sporadisch Arsenbronzen, also Kupferlegierungen mit hohem Arsengehalt. Ab dem frühen 4. Jahrtausend verbreiteten sich diese Legierungen im ganzen Nahen Osten, und wenig später hatten sie in Anatolien und in Persien das unlegierte Kupfer als dominierendes Metall abgelöst. Zum Ende des Chalkolithikums waren bereits viele wichtige Verfahren der Metallbearbeitung bekannt, und es gab eine große Palette an Produkten. Trotzdem wurden nur kleine Mengen hergestellt, wobei es sich vor allem um Luxus- und Kultobjekte handelte. Die alten Materialien der Steinzeit dominierten noch immer.

Wie im Nahen Osten haben Menschen auch auf dem Balkan schon im Neolithikum Kupferminerale und gediegen Kupfer verwendet. Ab Ende des 6. Jahrtausends gibt es Spuren des Kupferbergbaus, außerdem treten die ersten gegossenen Kupferobjekte auf. Dass zu dieser Zeit die Verhüttung von oxidischen Kupfererzen begann, belegt ein sehr neuer Fund von Kupferschlacken in Belovode (Radivojevic et al. 2010), einer Ausgrabung auf einem abgelegenen Bergplateau 140 km südöstlich von Belgrad. Es gibt aber leider keine Spuren von Öfen oder Tiegeln. Die Erfindung der Verhüttung fällt in die Frühzeit der spätneolithischen bis frühchalkolithischen Vinča-Kultur, die 700 Jahre lang bestand. Erhalten sind einige einfach geformte Äxte, Meißel und Armreifen aus sehr reinem Kupfer. Auch später blieb der Balkan ein äußerst innovatives Zentrum der Metallurgie, aus dem gesamten Chalkolithikum sind aus dieser Region 4300 Kupferartefakte erhalten, mit einem Gesamtgewicht von 4,7 t (Radivojevic et al. 2010). Im Vergleich dazu summiert sich die Anzahl im gesamten Nahen Osten auf gerade einmal 300 Stück. Recht schnell verbreiteten sich Metallobjekte in östliche Richtung über die ungarische Steppe nach Russ-



land (Chernykh 2008). Irgendwann tauchten auch in Mitteleuropa exotische, vom Balkan importierte Objekte auf, und um 3800 v. Chr., also nach mehr als 1000 Jahren, hatte sich das Know-how über die Karpaten bis in die Alpen und ins Elbe-Saale-Gebiet verbreitet – die europäische Entwicklung werden wir später genauer betrachten (s. Abschn. 3.6). Damit verbreiteten sich Kupferobjekte wie Nadeln, Armreifen, Meißel, Dolchklingen und Beile. Diese Objekte dürften damals weniger als Werkzeug oder Waffe gedient haben, vielmehr waren sie Statussymbole einer privilegierten Schicht.

Tal-i Iblis (Iran, in der Provinz Kerman, also relativ weit im Osten des Landes) war hingegen eine kleine Siedlung, deren Bewohner ab Ende des 6. Jahrtausends in den Höfen ihrer Wohnhäuser kleine Mengen an Kupfererz verarbeiteten. Es sind etwa 17 cm lange ovale Keramiktiegel erhalten (Pigott 1999; Thornton 2009), die entfernt an Auflaufformen erinnern, wie wir sie in der Küche verwenden. Auf der Innenseite ist die Keramik durch die Hitze angeschmolzen. Daraus lässt sich ableiten, dass die Tiegel von innen und oben, aber nicht von außen geheizt wurden. Man füllte sie mit einem Gemisch aus Holzkohle und Erz und bedeckte die Füllung mit Holzkohle, was reduzierende Bedingungen sicherstellte. Die Zufuhr von Sauerstoff erfolgte vermutlich durch Blasrohre mit einer Spitze aus Keramik. Diese häusliche Produktion scheint lange Zeit ein Einzelfall geblieben zu sein, erst etwa tausend Jahre später, im späten 5. und frühen 4. Jahrtausend, kamen in Persien weitere wichtige Zentren hinzu. Innerhalb weniger Jahrhunderte waren dies mehrere Orte, die weit entfernt voneinander liegen und die sich in ihrem Stil und ihrer Technologie unterschieden (Thornton 2009). Viele Kupferartefakte gibt es ab dieser Zeit etwa in Susa, das im Südwesten des Iran am Rand der Ebene Mesopotamiens liegt, und am Tepe Hissar im Nordwesten des Landes.

Mehrere Werkstätten wurden im Zentrum der damaligen Stadt Tepe Ghabristan ausgegraben, die bei Qazvin etwa 180 km nordwestlich von Teheran liegt. Es fanden sich Tiegel aus Keramik, runde, relativ flache Schüsseln mit etwa 15 cm Durchmesser, die auf einem Keramiksockel stehen. In diesem Sockel gibt es ein Loch, sodass der heiße Tiegel mit einem Stock bewegt werden kann. Außerdem wurden zerkleinerte oxidische Kupfererze, Schlacken und Gussformen für Äxte, Pickel und Barren gefunden.

In der Region Kashan (200 km südlich von Teheran) gibt es Werkstätten am Tepe Sialk und in Arisman. Tepe Sialk war eine Stadt mit kleinen Werkstätten, die vor allem Blei und Silber produzierten. Arisman war hingegen eine Siedlung, die auf Kupferproduktion spezialisiert war. Der Ort entwickelte sich zu einem regelrechten kleinen Industriegebiet, wobei auch hier Werkstätten und Wohnräume nebeneinander lagen. Frühe Tiegel hatten einen Keramikgriff, später wurden Tiegel wie in Ghabristan verwendet. Verarbeitet wurden Kupferkarbonate und Kupfersulfide, wobei die Schlackebildung beim

*co-smelting* unkontrolliert war und Kupferreste in der zähflüssigen Schlacke verblieben.

Ganz anders war die Technologie in Tepe Hissar. Das verwendete Erz enthält vor allem das Kupfersulfid Bornit, aber auch arsenhaltige Minerale und Gangarten wie Quarz und Steatit, die ebenfalls in den Tiegel kamen. Vermutlich wurden oxidische Kupfererze zugegeben (*co-smelting*). Die spezielle Erzzusammensetzung führte dazu, dass eine dünnflüssige Schlacke entstand, die sich gut vom Metall trennte. Erzeugt wurde eine Kupferlegierung mit relativ hohem Arsengehalt. Besonders interessant ist Tepe Hissar, weil hier schon sehr früh auch Öfen für die Verhüttung gebaut wurden: Im späten Chalkolithikum entstand am Rande der Siedlung ein kleines Industriegebiet mit einfachen Verhüttungsöfen, das für den Export bestimmtes Kupfer, bleihaltiges Kupfer und Blei erzeugte. Erstaunlicherweise wurde weitere 500 Jahre nur 100 m entfernt die Produktion von Arsenbronze für den Hausgebrauch unverändert innerhalb der Siedlung in kleinen Tiegeln fortgesetzt.

Ein interessanter Fund von Tepe Hissar war ein Tiegel aus einer feuerfesten Keramik (Thorton und Rehren 2009), der von unten geheizt werden konnte. Die Keramik war nicht aus Tonmineralen, Quarz und Feldspat hergestellt, sondern aus Steatit, einem weichen Gestein, das viele als Speckstein aus dem Kunstunterricht kennen und das überwiegend aus dem Mineral Talk besteht. Dieses Gestein dient auch heute noch als Rohstoff für feuerfeste technische Keramik. Fast alle Tiegel vom Chalkolithikum bis in die frühe Antike bestanden jedoch nicht aus speziellen feuerfesten Materialien und konnten daher nicht von außen beheizt werden. Normale Keramik wird bei großer Hitze weich, es kommt aber auch zu chemischen Reaktionen mit dem heißen Inhalt und mit dem Sauerstoff aus der Luft, was den Tiegel zusätzlich angreift.

In Anatolien könnten die aus Kupfer gegossenen Meißel von Mersin (Mittelmeerküste, Türkei) aus dem frühen 5. Jahrtausend den Beginn der Verhüttung anzeigen. Die Zusammensetzung des Metalls deutet darauf hin, dass es sich nicht mehr um gediegen Kupfer handelt. Gleichen Alters sind Schlacken von zwei Fundorten in der Nähe der Kupferlagerstätte Ergani Maden (Yalcin 2000). In der zweiten Hälfte des 5. Jahrtausends gab es in Anatolien bereits eine größere Anzahl von Orten mit Kupferproduktion, die sehr unterschiedliche Stile und Technologien entwickelten (Yener 2000), darunter auch Siedlungen, die auf die Metallproduktion spezialisiert waren. Obwohl sie Handel betrieben und in einem kulturellen Austausch standen, scheint es untereinander wenig technologischen Transfer gegeben zu haben. Im 4. Jahrtausend nahm der Einfluss aus Mesopotamien zu, zum Teil wurden auch kulturelle Elemente aus dem Kaukasus übernommen. Die produzierten Gegenstände wurden immer komplexer und größer, und neben persönlichen Objekten wie Nadeln, Ringen, Broschen und Anhängern entstanden

die ersten Waffen wie Äxte, Speerspitzen, Keulen und die ersten Schwerter. Diese Waffen waren wohl vor allem ein Statussymbol und dienten als Grabbeigabe, sie entwickelten sich aber auch zu einem Tauschmittel und zu Besitz, der angesammelt werden konnte. Daneben gab es auch bereits viele verschiedene Werkzeuge für die Landwirtschaft (zum Beispiel Sicheln) und für die Bearbeitung von Holz und Leder. Die Menschen experimentierten bereits mit Legierungen, sie scheinen bewusst arsenhaltige Erze verwendet zu haben, um die Eigenschaften des Metalls zu verbessern. Die meisten Objekte besitzen einen hohen Arsengehalt und können als Arsenbronze bezeichnet werden. Vereinzelt entstanden auch Zinnbronzen (s. Abschn. 3.2). Ein wichtiger Fundort dieser Zeit ist Arslantepe, das in Ostanatolien auf der Nordseite des Taurusgebirges liegt, ungefähr dort, wo der Euphrat dieses Gebirge durchquert. Neben Objekten aus Kupfer, Arsenbronze, Silber und Blei wurden auch Tiegel, Gussformen und große Mengen an Schlacke, Kupfererz und Eisenoxiden gefunden. Kupfer und Kupferlegierungen wurden durch *cosmelting* in Tiegeln erzeugt.

Anatolien und Persien sind beide durch Berge und Hochplateaus geprägt, die reich an Erzen und an Wäldern für die Herstellung von Holzkohle waren, während zugleich Landwirtschaft in Tälern und kleineren Becken möglich war. Diese Kombination dürfte die Entwicklung der Metallurgie befördert haben. In beiden Regionen gab es anscheinend kaum Technologieaustausch von Ort zu Ort (Yener 2000; Thornton 2009).

Im Gegensatz dazu wird für die südliche Levante (Israel, Jordanien) und Mesopotamien angenommen, dass neue Erkenntnisse ausgetauscht wurden und die Entwicklung einheitlich verlief. In der südlichen Levante begann die Verhüttung von oxidischem Erz vermutlich Ende des 5. Jahrtausends, in kleinen Siedlungen an den Kupferlagerstätten Timna (in der Negev-Wüste in Israel) und Faynan (Jordanien) (Hauptmann 2007) und in einiger Entfernung dazu in Siedlungen im Beershevat (Israel). Im Fall von Timna wurde mehrfach ein wesentlich früherer Beginn behauptet, was aber an der zweifelhaften Stratigraphie liegen dürfte (Craddock 2000). Erz und Brennmaterial wurden noch in Siedlungen transportiert, die Reduktion zu Kupfer lief auch hier in Tiegeln ab. Zum einen entstanden einfache Kupferobjekte für den Hausgebrauch, zum anderen für die Eliten komplexe Luxusgüter aus Arsenbronze, die im Wachsaußschmelzverfahren gegossen wurden. Möglicherweise war diese Legierung ein Import in Form von Barren.

In Mesopotamien entstanden im Chalkolithikum die ersten große Städte, unter denen zunächst Uruk herausragte. Die großen Überschüsse an Lebensmitteln, die von der entwickelten Landwirtschaft produziert wurden, ermöglichten bereits eine ausgeprägte Arbeitsteilung, die ausschlaggebend für eine Vielzahl von Innovationen war. Erstmals organisierte eine starke staatliche

Administration das Zusammenleben und den Bau von Bewässerungen. Ein ausgeprägtes Handelsnetz reichte bis über die Randgebiete Mesopotamiens hinaus; im Zagrosgebirge, in Anatolien und in Nordsyrien wurden Handelsposten errichtet, die als früheste Kolonien angesehen werden können. Mit der Töpferscheibe begann in Uruk die Massenproduktion von Keramik, die Schrift wurde erfunden, und obwohl die nächsten Kupfervorkommen weit entfernt in Persien, in Anatolien und im Oman liegen, wurde relativ viel Kupfer und Arsenbronze hergestellt.

Es ist erstaunlich, dass andere Metalle in Eurasien bis ins späte Chalkolithikum nahezu unbekannt waren. Ähnlich wie Kupfer kommt auch Silber mitunter gediegen vor, wurde aber entweder nur selten entdeckt oder nicht als wertvoll angesehen. Selbst Gold, das leicht aus Flüssen gewaschen werden kann, wurde kaum verwendet. Eine spektakuläre Ausnahme ist das Gräberfeld von Warna in Bulgarien aus der zweiten Hälfte des 5. Jahrtausends, in dem über 3000 Schmuckstücke aus Gold entdeckt wurden. Erst gegen Ende des Chalkolithikums ändert sich das Bild in der ganzen Region schlagartig, und in der Frühen Bronzezeit wurde Gold in größeren Mengen verwendet. Das aus Flüssen gewaschene Gold tritt nur sehr selten als Nuggets, sondern überwiegend in Form von winzig kleinen Flittern auf, die nicht durch kaltes Hämmern verarbeitet werden können. Zum Aufschmelzen reicht aber ein offenes Feuer nicht aus, es waren zumindest Blasrohre notwendig, um die Temperatur im Tiegel zu erhöhen. Von Nuggets abgesehen war die Goldproduktion daher erst mit der Technologie des Chalkolithikums möglich. Allerdings gibt es auch Kulturen, die sich kaum für Gold interessierten, obwohl sie eine entwickelte Metallurgie hatten. In Zentralchina, in Nordamerika mit Ausnahme von Mexiko und südlich der Sahara in Afrika hatte Gold lange Zeit keine Bedeutung, man sah andere Materialien als besonders wertvoll an.

Ein erstaunlicher Fund ist ein Armreif aus Blei aus dem 6. Jahrtausend aus Yarim Tepe (Nordirak). Gediegen Blei ist extrem selten. Daher ist es wahrscheinlich, dass die Verhüttung von Galenit (Bleiglanz,  $\text{PbS}$ ) zu Blei schon kurz vor der Kupferverhüttung gelang (Stech 1999). Bleierze sind leichter zu verhütten als Kupfererze; Blei blieb jedoch bis ins späte Chalkolithikum so selten, dass es sich eher um Experimente gehandelt haben muss. Deren Bedeutung liegt in der Silberverhüttung, da silberhaltiger Galenit (Bleiglanz,  $\text{PbS}$ ) das häufigste Silbererz ist. Dazu musste jedoch erst ein Verfahren entwickelt werden, um Silber aus einer Bleilegierung zu trennen: die sogenannte Kupellation. Dieses Verfahren wird später in Abschn. 4.7 erklärt, damit wir uns an dieser Stelle auf Kupfer konzentrieren können. Die Produktion von Blei und Silber begann in Anatolien und in Persien im späten Chalkolithikum. In Mesopotamien tauchten sehr große Mengen in der Frühen Bronzezeit in Uruk und Ur auf.

Im Kaukasus wurden seit dem 4. Jahrtausend Arsen- und Antimonbronzen produziert (Pike 2002; Chernykh 2008), und zwar von den Kulturen Maikop-Krania (nördlich des Hohen Kaukasus in Russland) und Kura-Araxes-Kultur (südlich davon, im Transkaukasus). Die Maikop-Krania hatten nur sehr einfache Siedlungen, aber reichlich mit Bronzegaben ausgestattete Gräber. In der osteuropäischen Steppenregion nördlich des Schwarzen und des Kaspischen Meeres breitete sich die Verhüttung schnell aus, insbesondere entstand im Südsüdural ein wichtiges Zentrum.

## 2.4 Arsenbronze und Fahlerzkupfer

Reines Kupfer ist relativ weich und für viele Anwendungen, die wir mit Metallen in Zusammenhang bringen, kaum zu gebrauchen. Erst mit der Entwicklung von Kupferlegierungen kamen Substanzen auf, die so hart und robust waren, dass sie dem Feuerstein als Waffe oder Werkzeug überlegen waren. Besonders wichtig war ohne Frage die Erfindung der Bronze, einer Legierung aus Kupfer und Zinn (s. Abschn. 3.2). Diese beiden Metalle kommen jedoch selten gemeinsam vor, und ausgerechnet im Nahen Osten ist Zinn relativ selten (s. Abschn. 3.3). Häufig sind jedoch arsenhaltige Kupfererze. So verwundert es nicht, dass die sogenannte Arsenbronze, eine Legierung aus Kupfer und Arsen, im Nahen Osten mehr als tausend Jahre vor der Erfindung der „echten“ Bronze aufkam. Arsenbronze spielt damit eine Schlüsselrolle in der Entwicklung von der Kupferzeit zur Bronzezeit.

Die ersten Arsenbronzen entstanden im späten 5. Jahrtausend in Persien (Thornton 2010) und in Anatolien, einige Jahrhunderte später waren sie im Nahen Osten das dominierende Metall. Selbst nach der Erfindung der „echten“ Bronze wurde bis in die Mittlere Bronzezeit wesentlich mehr Arsenbronze als Zinnbronze hergestellt (Avilova 2009); in Persien blieb Zinnbronze sogar bis ins 2. Jahrtausend eine Seltenheit. Erst um 1500 v. Chr. hatte Zinnbronze die Arsenbronze im Nahen Osten vollständig abgelöst.

In Mitteleuropa blieben die Arsengehalte in der Kupfersteinzeit noch sehr niedrig. Erst zu Beginn der Frühen Bronzezeit (die hier etwa 2200 v. Chr. begann) nahmen Legierungen mit hohem Arsenanteil durch die Verwendung von Fahlerz zu, etwa gleichzeitig mit den ersten vereinzelt Zinnbronzen (Krause 2003). Ab etwa 1800 v. Chr. traten hier Zinnbronzen flächendeckend und sprunghaft auf: Häufig wurde nun arsenhaltiges Kupfer mit Zinn legiert. In Spanien waren Arsenbronzen in der Frühen Bronzezeit ebenfalls weit verbreitet, dort gab es nur vereinzelte Armreifen aus Zinnbronze.

In Südamerika spielte Arsenbronze eine ähnliche Rolle (Lechtman und Klein 1999; Cooke et al. 2009). Sie wurde in Nordwestargentinien seit 400

n. Chr. und in Südperu durch die Wari-Kultur seit 600 n. Chr. hergestellt. In Bolivien, wo zu dieser Zeit die Hauptphase der Tihuanaco-Kultur begann, bevorzugte man hingegen eine ternäre Legierung aus Kupfer, Arsen und Nickel. Für Schmuck stellte man dort bereits Zinnbronze her. Die Dominanz von Arsenbronze beziehungsweise Nickel-Arsenbronze endete in den Anden erst in der Mitte des 15. Jahrhunderts durch die Hegemonie der Inka, die in großer Zahl Gegenstände aus Zinnbronze produzierten.

Arsengehalte bis 2 % sind in frühen Kupferartefakten sehr häufig, was aber noch keine merkliche Verbesserung gegenüber reinem Kupfer bewirkt. Bei einem Arsengehalt über 4 % werden die Metalleigenschaften jedoch deutlich besser, eine Legierung mit etwa 8 % Arsen hat sogar eine Härte und Robustheit, die nahe an Zinnbronze heranreicht. Arsenbronze hat eine silberne Farbe, im Gegensatz zum rötlichen Kupfer und zur goldglänzenden Zinnbronze. Die Farbe des Metalls war in der Frühgeschichte möglicherweise wichtiger als andere Eigenschaften. Arsen verringert zudem den Schmelzpunkt des Metalls, verbessert die Eigenschaften beim Guss und macht es weniger korrosionsanfällig. Antimon verhält sich ähnlich und kommt in der Natur oft gemeinsam mit Arsen vor, entsprechend hat Arsenbronze oft auch hohe Gehalte an Antimon. Eine Legierung mit wenigen Prozent Nickel verbessert die Eigenschaften auf ähnliche Weise. Nickelminerale kommen ebenfalls in manchen Kupferlagerstätten vor, und tatsächlich gibt es Arsenbronzen mit einem erhöhten Nickelgehalt.

In Regionen, in denen arsenhaltige Erze häufig vorkommen, war es nur eine Frage der Zeit, dass diese zusammen mit anderen Erzen in den Tiegel kamen. Wahrscheinlich entstanden die ersten Arsenbronzen auf diese Weise ganz zufällig und nicht in der Absicht, ein besseres Metall zu erzeugen. Wir können aber davon ausgehen, dass die Menschen die verbesserten Eigenschaften bemerkten und daraufhin gezielt nach geeigneten Mischungen suchten. Je nachdem, welche Erzmischungen in den Ofen gelangten, entstanden Legierungen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen. Auch die Temperatur im Tiegel und die unterschiedliche Abtrennung anderer Metalle in der Schlacke haben große Auswirkungen auf das Ergebnis. Daher ist es nicht immer möglich, von der Zusammensetzung des Metalls auf die verwendeten Erze zu schließen.

Da Fahlerze relativ häufig sind, wurden sie besonders häufig als Kupfererz verwendet. Dabei handelt es sich um eine Mineralgruppe mit flexibler Zusammensetzung, die zwischen den theoretischen Endgliedern Tennantit (Arsenfahlerz) mit der Zusammensetzung  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  und Tetraedrit (Antimonfahlerz),  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  liegt. Außerdem enthalten Fahlerze weitere Metalle im Bereich von mehreren Prozent, wie Eisen, Zink, Silber, Blei und Quecksilber, die einen Teil des Kupfers in der Struktur ersetzen. Freibergit zum Beispiel enthält bis zu 18 % Silber. Während die meisten Sulfide metallisch glänzen,



sind Fahlerze fahlgrau. In Mitteleuropa waren Fahlerze das wichtigste Kupfererz der Bronzezeit, große Vorkommen gibt es in den Ostalpen, im Erzgebirge und in den Karpaten. Das damit erzeugte Kupfer hat hohe Gehalte an typischen Spurenelementen und wird als Fahlerzkupfer bezeichnet.

Fahlerz kann entweder durch *co-smelting* (Lechtman und Klein 1999) zusammen mit oxidischen Kupfererzen oder durch Rösten und anschließendes Verhütten verarbeitet werden. Nach Höppner et al. (2005) ist in primitiven Öfen auch die direkte Verarbeitung von Fahlerz möglich, weil anfangs genug Sauerstoff vorhanden ist: Das Rösten und Schmelzen läuft dabei nacheinander in einem einzigen Arbeitsgang ab. Das bewusste Rösten wurde vermutlich in der Bronzezeit erfunden und hat den Nachteil, dass viel Arsen gasförmig als  $\text{As}_2\text{O}_3$  entweicht. Die direkte Verarbeitung durch *co-smelting* begünstigt daher einen hohen Arsengehalt in der Legierung.

Im Andenraum spielte stattdessen das dort häufige Mineral Enargit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) eine wichtige Rolle bei der Herstellung von Arsenbronze. Damit wurde eine reine Kupfer-Arsen-Legierung hergestellt. Die Verarbeitung entspricht der Verarbeitung von Fahlerz. Im Fall von *co-smelting* mit oxidischen Erzen läuft eine Reaktion wie die folgende ab:



Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Arsenopyrit ( $\text{FeAsS}$ ), ein hellgraues Mineral mit einem auffälligen bitteren Geruch, das relativ häufig im primären Erz von arsenhaltigen Kupferlagerstätten vorkommt. Ein hoher Nickelgehalt kann durch die Verwendung von Mineralen wie Nickelin ( $\text{NiAs}$ ) oder Rammelsbergit ( $\text{NiAs}_2$ ) entstehen. Auch die Verwendung von Arsenmineralen aus der Oxidationszone ist möglich: Das Kupferarsenat Olivenit kommt meist nur in sehr kleinen Mengen vor. Häufiger ist Erythrin,  $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ , dessen Verwendung den erhöhten Kobaltgehalt mancher Arsenbronzen erklären würde. Auch Annabergit,  $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ , ist denkbar, es enthält nicht nur Arsen und Nickel, sondern hat auch noch eine grüne Farbe, die an Malachit erinnert.

Für den Iran wird die Verwendung der Minerale Algodonit ( $\text{Cu}_5\text{As}$ ) und Domeykit ( $\text{Cu}_3\text{As}$ ) diskutiert. Diese seltenen Minerale kommen im Bergbaurevier Anarak vor, in dem ein Abbau seit dem Chalkolithikum vermutet wird. In geschmolzenes Kupfer geworfen, lösen sie sich auf wie Zuckerwürfel.

Am Tepe Hissar (Iran) hat man zudem größere Mengen von synthetischem Eisenarsenid ( $\text{FeAs}$ ) gefunden, das möglicherweise in der Frühen Bronzezeit als Rohstoff für die Herstellung von Arsenbronze gehandelt wurde. Arsenide und Antimonide wurden im Deutschen befremdlich als „Speis“, „Speise“ oder „Arsenspeise“ und „Antimonspeise“ (englisch: *speiss*) bezeichnet. Beispielsweise ist „Speiskobalt“ die alte Bergmannsbezeichnung für das Mineral Skutterudit, das die Zusammensetzung  $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_3$  hat. Von solchen

natürlichen Mineralen abgesehen können auch synthetische Arsenide und Antimonide bei der Verhüttung entsprechender Erze entstehen. Im Ofen bildet sich zwischen Metallschmelze und Schlacke eine Schicht aus Arsenid- oder Antimonidschmelze, die in den anderen Schmelzen nicht mischbar ist. An alten Kupfer- und Silberhütten, die arsen- und antimonhaltige Erze verarbeiteten und die chemischen Prozesse nicht genau regulieren konnten, fiel Arsenspeise als Abfall beziehungsweise Zwischenprodukt an. Typisch sind Verbindungen von Kupfer, Nickel, Eisen und Silber mit dreiwertigem Arsen und Antimon. Diese Verbindungen haben ein ähnliches Aussehen wie Metall, sind jedoch sehr spröde. Vermutlich war die Entstehung meist nicht gewollt, schließlich gehen damit Silber und Kupfer verloren. Immerhin wurde Arsenspeise in der Späten Bronzezeit und in der römischen Antike in Barrenform gehandelt, wohl um die darin enthaltenen Metalle im Kupellationsverfahren (s. Abschn. 4.7) zu gewinnen. Das Eisenarsenid vom Tepe Hissar impliziert jedoch die gezielte Verarbeitung von Mineralen wie Arsenopyrit ( $\text{FeAsS}$ ) in Abwesenheit von Kupfererzen, das Material fiel also nicht zufällig in der Kupfergewinnung an (Thornton et al. 2009).

## 2.5 Gold aus dem Kaukasus

Es ist relativ leicht, Gold aus Flüssen zu waschen, was aber kaum Spuren hinterlässt, die Archäologen später finden könnten. Der Kaukasus ist für seinen Goldreichtum bekannt, in Georgien gibt es einige Flüsse, deren Kies einen hohen Goldgehalt hat. Die Sage der Argonauten aus der griechischen Antike dürfte also einen wahren Kern haben. In der Geschichte erhält Jason den Auftrag, aus Kolchis, dem damaligen Westgeorgien, das Goldene Vlies zu holen, das goldene Fell eines mythischen Widders. Jason reiste mit einigen Gefährten auf dem Schiff „Argo“ nach Kolchis. Der dortige König versprach ihm das Vlies unter der Bedingung, dass er ein Abenteuer besteht, das mit größter Wahrscheinlichkeit tödlich enden würde. Dank der Hilfe der Prinzessin Medea, die sich in ihn verliebt hatte, gelang Jason das Unmögliche. Der König wollte danach Jason lieber ermorden, als sein Versprechen einzulösen, was aber wieder an Medea scheiterte. Die beiden stahlen das Goldene Vlies und flüchteten zusammen mit den Gefährten, wobei sich die Heimreise zu einer langen Abenteuergeschichte entwickelte. Der Mythos geht darauf zurück, dass man Tierfelle in die Wasserströmung legte, in denen sich feine Goldfitter verfangen.

Offensichtlich begannen Menschen aber auch früh, Gold aus dem harten Gestein abzubauen. In Sakdrisi in Südgeorgien haben Archäologen ein Goldbergwerk ausgegraben, in dem Menschen der Kura-Araxes-Kultur ab etwa

3400 v. Chr. einige Jahrhunderte lang das Edelmetall aus Quarzgängen abbauten (Stöllner et al. 2010), die sich in einem stark alterierten Vulkangestein (Rhyolith) befinden. Der Abbau erfolgte an der Oberfläche in Pingen, also in kleineren Gruben, die dem Quarzgang folgten. Außerdem gab es kleinere Stollen, in denen unter Tage abgebaut wurde. Als Werkzeuge dienten Steinhämmer, wobei offensichtlich mit einem Schlaghammer auf einen spitzen Hammer geschlagen wurde, der wie ein Meißel eingesetzt wurde, ganz ähnlich wie in späterer Zeit Schlägel und Eisen. Es gibt auch Hinweise darauf, dass Feuersetzen (s. Abschn. 5.1) angewandt wurde, die Hitzeeinwirkung macht das Gestein mürbe. Die Aufbereitung des Erzes muss sehr aufwendig gewesen sein. An der Mine wurde es mit Hämmern klein geschlagen und dann in der nahe gelegenen Siedlung mit Mühlsteinen fein gemahlen. Vermutlich folgte das Auswaschen des Goldes in einem Fluss.

Die geförderte Menge muss sehr groß gewesen sein. Die Kura-Araxes haben sehr kunstvoll gearbeiteten Goldschmuck hinterlassen, aber erstaunlicherweise nur in geringer Menge. Der Verbleib des übrigen Edelmetalls ist unklar, möglicherweise führt die Spur nach Arslantepe in Anatolien, in dessen Königsgräbern man nicht nur viel Gold fand, sondern auch Keramik der Kura-Araxes.

## Literatur

- Avilova, L. I. 2009. Models of metal production in the near east (Chalcolithic – Middle Bronze Age). *Archaeology Ethnology & Anthropology of Eurasia* 37:50–58.
- Bar-Yosef Mayer, D. E., und N. Porat. 2008. Green stone beads at the dawn of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:8548–8551.
- Chernykh, E. N. 2008. Formation of the Eurasian „steppe belt“ of stockbreeding cultures: Viewed through the prism of archaeometallurgy and radiocarbon dating. *Archaeology Ethnology & Anthropology of Eurasia* 35:36–53.
- Cooke, C. A., M. B. Abbott, und A. P. Wolfe. 2009. Metallurgy in southern South America. In *Encyclopaedia of the history of science, technology, and medicine in non-western cultures*, Vol. 2, Hrsg. H. Seline, 1658–1662. Dordrecht: Springer.
- Craddock, P. T. 2000. From hearth to furnace: Evidences for the earliest metal smelting technologies in the Eastern Mediterranean. *Paléorient* 26:151–156.
- Hauptmann, A. 2007. *The archaeometallurgy of copper: Evidence from Faynan, Jordan*. Berlin: Springer.
- Höppner, B., M. Bartelheim, M. Huijsmans, R. Krauss, K.-P. Martinek, E. Pernicka, und R. Schwab. 2005. Prehistoric copper production in the Inn valley (Austria), and the earliest copper in central Europe. *Archaeometry* 47:293–315.
- Krause, R. 2003. *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee*. Rahden: Marie Leidorf.

- Lechtman, H., und S. Klein. 1999. The production of copper-arsenic alloys (arsenic bronze) by cosmelting; modern experiment, ancient practice. *Journal of Archaeological Science* 26:497–526.
- Pigott, V. C. 1999. The development of metal production on the Iranian plateau: An archaeometallurgical perspective. In *The archaeometallurgy of the Asian old world*, Hrsg. V. C. Pigott, Philadelphia: University of Pennsylvania Press. Museum of Archaeology and Anthropology.
- Pike, A. 2002. Analysis of Caucasian Metalwork – The use of antimonial, arsenical and tin bronze in the Late Bronze Age. Hrsg. J. Curtis, und M. Kruszyskinna: Ancient Caucasian and related material in the British Museum. British Museum Occasional Paper 121.
- Radiwojevic, M., T. Rehren, E. Pernicka, D. Sljivar, M. Brauns, und D. Boric. 2010. On the origins of extractive metallurgy: new evidence from Europe. *Journal of Archaeological Science* 37:2775–2787.
- Roberts, B. W., C. P. Thornton, und V. C. Pigott. 2009. Development of metallurgy in Eurasia. *Antiquity* 83:1012–1022.
- Ruiz-Taboada, A., und I. Montero-Ruiz. 1999. The oldest metallurgy in western Europe. *Antiquity* 73:897–903.
- Stech, T. 1999. Aspects of early metallurgy in Mesopotamia and Anatolia. In *The archaeometallurgy of the Asian old world*, Hrsg. V. C. Pigott, Philadelphia: University of Pennsylvania Press. Museum of Archaeology and Anthropology.
- Stöllner, T., I. Gambaschidze, A. Hauptmann, G. Mindiašvili, G. Gogočuri, und G. Steffens. 2010. Goldbergbau in Südostgeorgien – Neue Forschungen zum frühbronzezeitlichen Bergbau in Georgien. In *Von Maikop bis Trialeti. Akten des Symposiums Berlin 1.–3. Juni 2006. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte* 13, Hrsg. S. Hansen, A. Hauptmann, I. Motzenbäcker und E. Pernicka, 103–138. Bonn.
- Thornton, C. P. 2009. The emergence of complex metallurgy on the Iranian plateau: Escaping the levantine paradigm. *Journal of World Prehistory* 22:301–327.
- Thornton, C. P. 2010. The rise of arsenical copper in southeastern Iran. *Iranica Antiqua* 45:31–50.
- Thornton, C. P., und T. Rehren. 2009. A truly refractory crucible from fourth millennium Tepe Hissar, Northeast Iran. *Journal of Archaeological Science* 36:2700–2712.
- Thornton, C. P., T. Rehren, und V. C. Pigott. 2009. The production of speiss (iron arsenide) during the Early Bronze Age in Iran. *Journal of Archaeological Science* 36:308–316.
- Vermeersch, P. M., E. Paulissen, G. Gijselings, M. Otte, A. Thoma, P. van Peer, und R. Lauwers. 1984. 33,000-yr old chert mining site and related Homo in the Egyptian Nile Valley. *Nature* 309:342–344.
- Yalcin, Ü. 2000. Frühchalkolitische Metallfunde von Mersin-Yumuktepe: Beginn der extraktiven Metallurgie? *TÜBA-AR* 3:109–128.
- Yener, K. A. 2000. *The domestication of metals. The rise of complex metal industries in Anatolia*. Leiden: Brill.

Von der Kupfersteinzeit zu den Seltenen Erden

Eine kurze Geschichte der Metalle

Neukirchen, F.

2016, X, 167 S. 17 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-49346-5