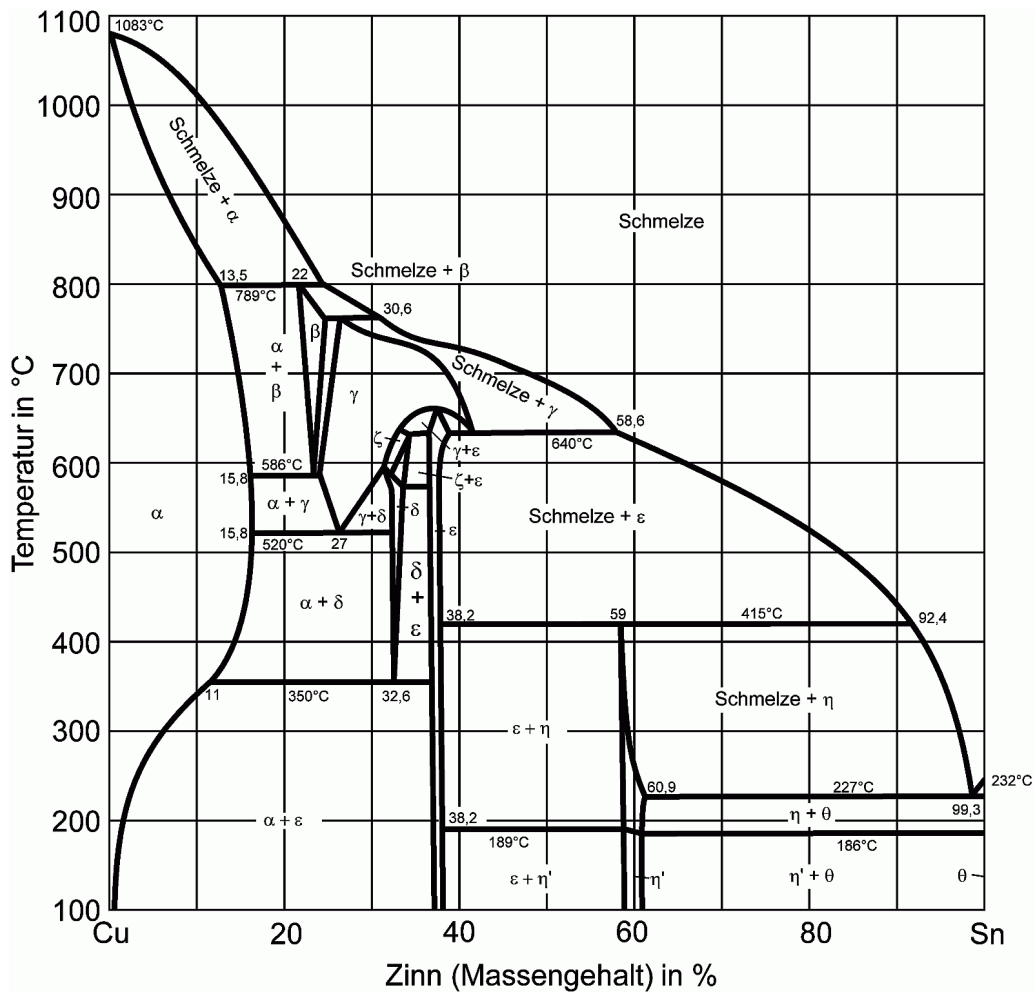


Die Entwicklung der Bronzemetallurgie und die frühesten Zinnbronzen



Titelbild: Phasendiagramm Kupfer-Zinn (Kupferinstitut 2004a).



2016 – axel.berger-odenthal.de – Axel Berger

Dieser Inhalt ist unter einem Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert. Um die Lizenz anzusehen, gehen Sie bitte zu <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/> oder schicken Sie einen Brief an Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

Sie dürfen: den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich aufführen, sowie Abwandlungen bzw. Bearbeitungen des Inhaltes anfertigen.

Zu den folgenden Bedingungen:

Namensnennung. Sie müssen den Namen des Autors/Rechtsinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.

Weitergabe unter gleichen Bedingungen. Wenn Sie diesen Inhalt bearbeiten oder in anderer Weise umgestalten, verändern oder als Grundlage für einen anderen Inhalt verwenden, dann dürfen Sie den neu entstandenen Inhalt nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen die Lizenzbedingungen, unter die dieser Inhalt fällt, mitteilen. Jede dieser Bedingungen kann nach schriftlicher Einwilligung des Rechtsinhabers aufgehoben werden.

Inhaltsverzeichnis

I	Materialeigenschaften: Was macht die Bronze so überlegen?	I
1.1	Aussehen	1
1.2	Gießbarkeit	1
1.2.1	Phasendiagramm der Zinnbronze	3
1.3	Festigkeit und Härte	4
1.3.1	Definitionen der Begriffe	4
1.3.2	Festigkeit gegossener Bronze	5
1.3.3	Festigkeit und Härte nach Kaltverformung	8
1.4	Qualitätsvergleich der Bronze zum Eisen	10
2	Woher kam das erste Zinn?	II
2.1	Vorläufer der Zinnbronze	11
2.2	Der Beginn in Mesopotamien	13
2.2.1	Zinnfreie Kupferverhüttung im Westen	14
2.2.2	Stark reduzierende Verhüttung im Nahen Osten	15
2.2.3	Kulturkontakte von Mesopotamien nach Zentralasien	16
2.3	Zinnbergwerke im Zeravshantal	18
2.3.1	Karnab	19
2.3.2	Mushiston	21
2.3.3	Sarazm	21
2.3.4	Ostkasachstan	23
2.4	Weitere mögliche Quellregionen	23
3	Die Anfänge der Bronzezeit in Zentraleuropa	27
	Literaturverzeichnis	31
A	Tafeln	39

Abbildungsverzeichnis

1	Verbesserung des Gießergebnisses durch geringe Arsenanteile . .	2
2	Phasendiagramm der Zinnbronze	3
3	Erstarrungsintervalle von Zinnbronze	4
4	Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm.	5
5	Festigkeitswerte gegossener Zinnbronze	6
6	Steifigkeit und Kerbschlagzähigkeit gegossener Bronze	7
7	Der Meßaufbau für die Kerbschlagzähigkeit	7
8	Wirkung der Kaltverformung auf Festigkeit und Härte	8
9	Langquaid-Beile mit gehärteter Schneide durch Kaltschmieden . .	9
10	Verformtes Gefüge im Bereich der kaltgeschmiedeten Schneide . .	9
11	Nebenelementgehalte und erreichte Härten der Salez-Beile	12
12	Unterschiedliche Kaltumformung an Beilen vom Typ Salez	12
13	Verbreitung der Zinnbronze in der Frühbronzezeit	13
14	Kupferverhüttung in Europa und im Nahen Osten	14
15	Herstellung von Bronze aus metallischem Kupfer und Zinn	16
16	Zinnerzlagerstätten in Zentralasien	19
17	Die Grube 3/3 in Karnab	20
18	Karte des prähistorischen Bergbaus in Mittel- und Zentralasien . .	22
19	Gesteinsalter und Bleiisotope von Uganda, Uluburun und Haifa .	24
20	Die goldene Tasse aus dem Rillaton Barrow, Wiltshire, England . .	28
21	Die Handelswege des Zinns und des Bernsteins	28
22	Der Weg des wandernden Bronzezeitvolkes nach Siret	29

Tafeln im Anhang

1	Objekte aus dem Hortfund von Nahal Mishmar	39
2	Phasendiagramm der Zinnbronze	40
3	Der Erzberg in Eisenerz, Steiermark	41
4	Rekonstruktion eines Reduziertiegels aus La Ceñuela	42
5	Mikrosondenanalyse des Tiegels aus Villaviciosa de Odón	43
6	Karawanentransport für Zinn und andere Rohstoffe	44
7	Das elamitische Steinobjekt aus Soch, Fergana	45
8	Dekor einer elamitischen Steatitvase	45
9	Keramikkelche des Baktrien-Margiana-Komplexes	46
10	Kosmetikflasche aus Chlorit als Import aus Baktrien	47
11	Funde der Oasenkultur auf der Arabischen Halbinsel	48
12	Nachahmungen typischer Objekte der Oasenkultur	49
13	Die Grube 6/1 in Karnab	50
14	Die baumlose Landschaft des Zeravshantals in Zentralasien	51
15	Der Tell im Zentrum von Karnab	52
16	Die bronzezeitliche Bergarbeitersiedlung Sichkonchi	53
17	Grabungsplan der Siedlung am Sichkonchi	54
18	Die Reviere von Lapas und Changali	55
19	Die Lagerstätte am Berg Mushiston von Osten.	56
20	Die Lagerstätte am Berg Mushiston von Norden und im Schnitt	57
21	Befunde und Gänge in Mushiston	58
22	Die Fundstelle Askaraly im Delbegtej-Granitmassiv	59
23	Zinnquellen der Welt und ihre Bleiisotopwerte	60
24	Die Aunjetitzer Gruppen im Nordosten Mitteleuropas	61
25	Daten für den Übergang zur Zinnbronze in Europa	62
26	Metallfunde der frühen Bronzezeit aus Böhmen und Spanien	63
27	Keramik der frühen Bronzezeit aus Böhmen und Spanien	64

Tabellenverzeichnis

1	Härtevergleich von Kupfer, Bronze und Eisen	10
2	Röntgenfluoreszenzanalyse an Funden aus Villaviciosa de Odón .	15
3	Mikrosondenanalyse der anhaftenden Schlacken	43
4	Analyseergebnis des Kupfertropfens	43

I Materialeigenschaften

Was macht die Bronze so überlegen?

Wenn der Archäologe ohne nähere Angabe von „Bronze“ spricht, so ist stets die Zinnbronze gemeint. In der Metallurgie ist dagegen *Bronze* jede Kupferbasislegierung mit Ausnahme derer mit Zink als wichtigstem Legierungselement, sie heißen aus historischen Gründen *Messing*. In der modernen Metallurgie, der alle Legierungsbestandteile rein zur Verfügung stehen, werden Legierungen spätestens ab 1 % Zuschlagsanteil als solche bezeichnet. In den frühen Metallzeiten kamen Zuschläge und Verunreinigungen meist unbeabsichtigt bereits bei der Verhüttung aus dem vorliegenden Erz. Deshalb sollte hier noch bis etwa 4 % Fremdmetallanteil von Kupfer und erst darüber von Bronze gesprochen werden (Tylecote 1991).

Drei Eigenschaften sind es vor allem, die die Bronze im Vergleich zu anderen Metallen, vor allem Kupfer, auszeichnen:

- Auffallendes Aussehen mit goldähnlicher Färbung
- Bessere Gießbarkeit ohne Gasblasen und Lunker
- Größere Härte und Festigkeit

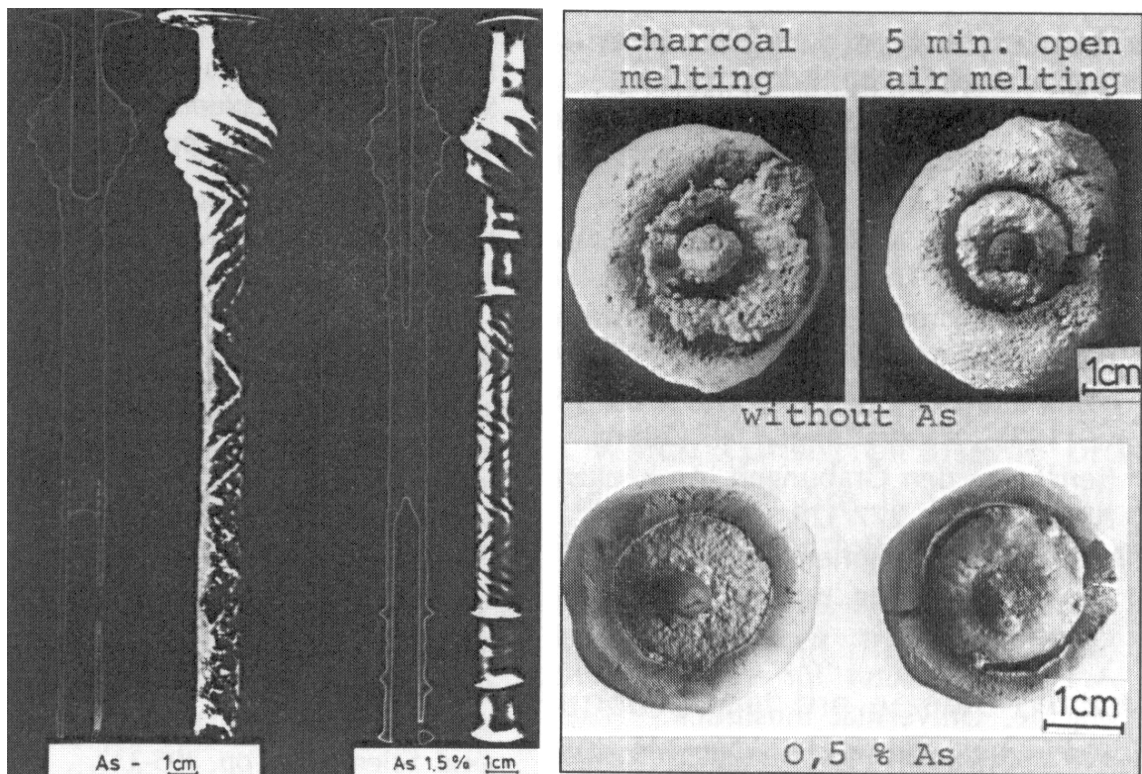
1.1 Aussehen

Dieser Punkt bedarf keiner weiteren Erläuterung. In der Anfangszeit scheint er der entscheidende gewesen zu sein; überall, wo die Zinnbronze neu auftritt, wird sie zunächst ausschließlich für Prunk- und Prestigeobjekte und nicht für praktisch angewandte Geräte benutzt.

1.2 Gießbarkeit

Flüssiges Kupfer nimmt aus der Luft große Mengen Sauerstoff auf, oxidiert als relativ edles Metall aber nicht sondern hält ihn nur in Lösung. Beim Abkühlen und Erstarren gibt es den Sauerstoff wieder ab, was zu Blasen und einer schaumigen,

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Zwei Standarten aus dem Hortfund von Nahal Mishmar. Die linke aus reinem Kupfer weist Lunker und eine schlechte Oberfläche auf während die rechte mit 1.5 % Arsenanteil einwandfrei gelungen ist.¹

(b) Guß von Kupferperlen; oben reines Kupfer; unten 0.5 % Arsenanteil; links im offenen Tiegel erschmolzen; rechts unter einer Abdeckung mit Holzkohle zum Ausschluß von Sauerstoff; (die Originalbeschriftung ist hier offenbar falsch).

Abbildung 1: Verbesserung des Gießergebnisses bei Kupfer schon durch geringe Arsenanteile (Zwicker 1991).

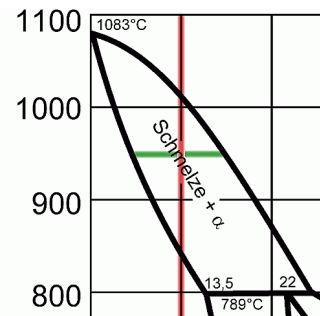
rauen Oberfläche führt. Schon Spuren unedlerer, oxidierender Legierungselemente binden den Sauerstoff und ermöglichen einen blasenfreien² Guß mit einwandfreier Oberfläche (Pernicka 1998, 135).

¹ Die Abbildungsqualität ist bereits im Original so schlecht.

² nicht unbedingt lunkerfreien. Lunker entstehen auch durch die Volumenverminderung beim Erstarren immer dann, wenn ein noch flüssiger Kern von einer bereits festen Schale komplett umgeben ist.

Materialeigenschaften: Was macht die Bronze so überlegen?

Abbildung 2: Phasendiagramm der Zinnbronze. Von praktischer Bedeutung ist vor allem der Bereich mit weniger als 20 % Zinngehalt und in der Nähe der Schmelz- und Erstarrungstemperatur. Hervorgehoben sind der typische 10 %-ige Zinngehalt und die 950° C-Isotherme im Schmelzintervall (Kupferinstitut 2004a).



1.2.1 Phasendiagramm der Zinnbronze

Wie die meisten Legierungen weist auch Bronze gegebener Zusammensetzung im festen Zustand temperaturabhängig verschiedene Phasen auf (Tafel 2). Sie sind entscheidend für die Wirkung des Abschreckens. Durch die schnelle Abkühlung fehlt die Zeit für die Atomumlagerung und Herstellung des Gleichgewichtes, die Legierung liegt auch kalt noch in der Gleichgewichtsphase der höheren Temperatur vor. Bei Eisen entsteht dabei aufgrund innerer Spannungen die Härte und Festigkeit gehärteten Stahls. Kupfer und Bronze verhalten sich genau umgekehrt, durch Glühen und Abschrecken werden sie weich und kalt schmiedbar.

Vor allem interessiert uns die linke obere Ecke des Diagramms (Abb. 2), der Bereich mit Zinnanteilen von bis zu 15 % und in der Nähe der Liquidus- und Soliduslinien. Legierungen wie die hier rot hervorgehobene 10 %-ige Zinnbronze haben³ keinen festen Schmelzpunkt sondern ein Erstarrungsintervall mit teigiger Konsistenz. Beim Erreichen der Liquiduslinie bilden sich erste Kristallite und nehmen bei weiterer Abkühlung so lange zu, bis an der Soliduslinie die gesamte Masse fest wird. Im Bereich dazwischen bestimmt die jeweilige Isotherme, hier grün bei 950° C, und ihre Schnittpunkte mit der Liquidus- und Soliduslinie die Zusammensetzung der beiden Phasen. Die Kristallite enthalten bei dieser Temperatur rund 4 % Zinn und die Schmelze 15 %. Der Gesamtgehalt an Zinn, hier 10 %, hat darauf keinen Einfluß, er bestimmt lediglich das Mengenverhältnis der beiden Phasen zueinander. Dies gilt allerdings nur im Gleichgewicht bei sehr langsamer Abkühlung. Bei schneller Erstarrung ändert sich die Zusammensetzung einmal gebildeter Kristalle nicht mehr, das Zinn konzentriert sich immer stärker in der Schmelze und die Soliduslinie wird deutlich abgesenkt (Abb. 3). Der Festkörper besteht dann aus einem Gemisch von Kristallkörnern deutlich unterschiedlicher Zusammensetzung. In einem Übergangsbereich der Abkühlgeschwindigkeit erstarrt zuerst eine zinnarme Außenhülle während sich zum Zentrum hin im zuletzt erstarrenden Bereich das Zinn anreichert. Bei dieser makroskopischen Entmischung spricht man von Seigerung.

³ mit Ausnahme der Eutektika

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

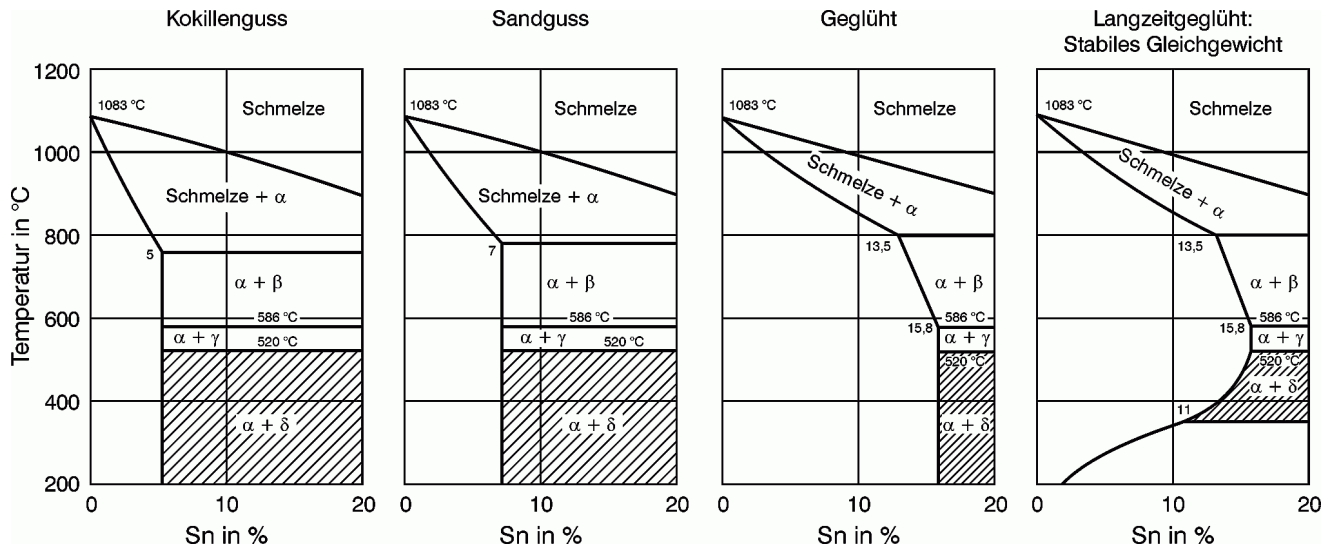


Abbildung 3: Erstarrungsintervalle von Zinnbronze bei unterschiedlicher Abkühlgeschwindigkeit (Kupferinstitut 2004a).

1.3 Eigenschaften: Festigkeit und Härte

Wenn umgangssprachlich von Festigkeit die Rede ist, so ist meistens die Steifigkeit⁴ gemeint, der Widerstand, den ein Material einer geringen Verformung entgegensetzt, aus der es bei Entlastung wieder in die Ursprungsform zurückfedert. Die Festigkeiten kommen erst jenseits davon im Bereich der bleibenden Verformungen zum Tragen.

1.3.1 Definitionen der Begriffe

Die Festigkeitswerte werden in der Werkstoffkunde an Rundstäben ermittelt, die langsam und kontrolliert in die Länge gezogen werden. Gemessen wird die dabei jeweils aufgewendete Kraft. Die Spannung ist der Quotient aus dieser Kraft und dem Querschnitt. Es wird dabei stets mit dem Ausgangsquerschnitt gerechnet, auch am Ende der Belastung bei bereits deutlich sichtbarer Einschnürung. Am Anfang wird der Zugstab nur elastisch gedehnt, bei Entlastung geht er auf die Ausgangslänge zurück. Die Spannung steigt proportional zur Dehnung, ihr Quotient ist der Elastizitätsmodul. Beim Überschreiten der Streckgrenze R_e setzt, erkennbar an einem Sprung der Spannung in Abb. 4a, die bleibende Verformung ein. Leider

⁴ Strenggenommen ist die Steifigkeit eine Bauteileigenschaft, die von dessen Geometrie und dem Elastizitätsmodul des Materials abhängt. Es gibt jedoch weder im Deutschen noch im Englischen einen Begriff für die mit dem Elastizitätsmodul beschriebene Eigenschaft, so daß auch hier die Begriffe steif und flexibel verwendet werden.

Materialeigenschaften: Was macht die Bronze so überlegen?

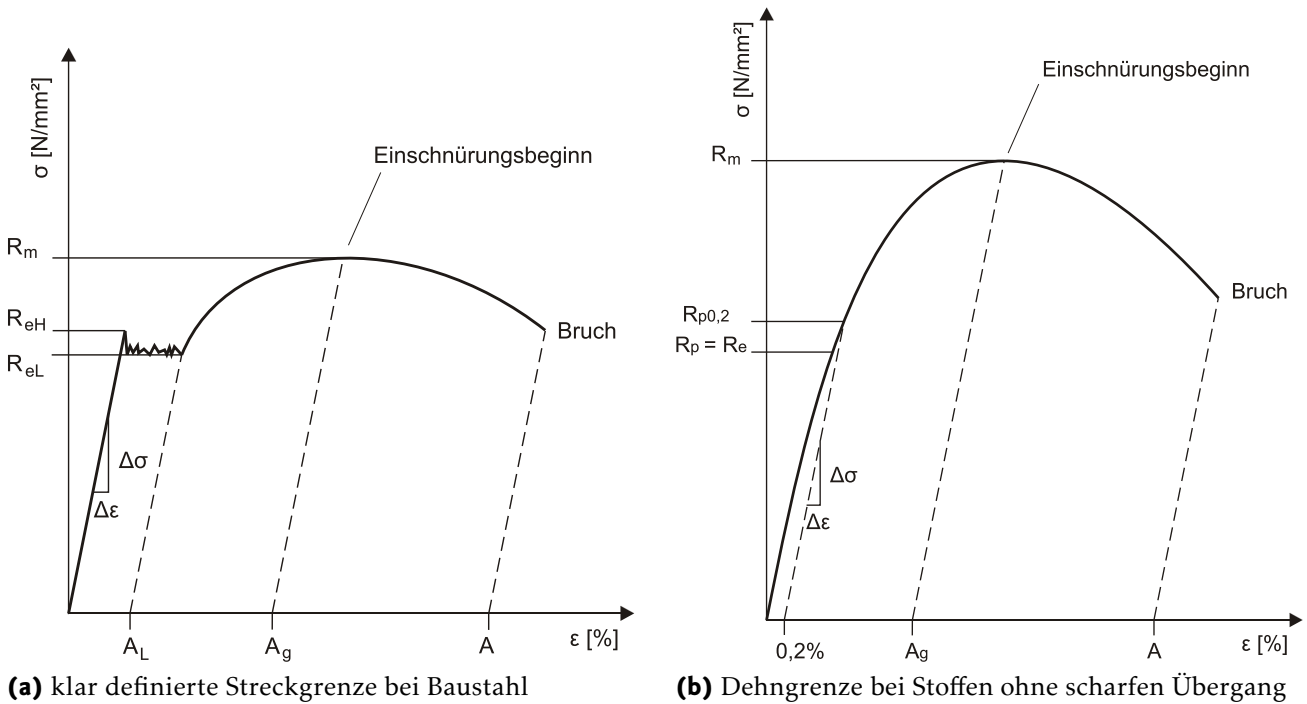


Abbildung 4: Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

weist von allen Werkstoffen fast nur Baustahl dieses gut erkennbare Verhalten auf. Alle anderen Werkstoffe zeigen den kontinuierlichen Verlauf des rechten Diagrammes. Alternativ zur Streckgrenze R_e definiert man hier wie in Abb. 4b die Dehngrenze $R_{p0,2}$, die Spannung, bei der nach Entlastung die bleibende Dehnung 0.2 % beträgt.

Durch die Kaltverfestigung steigt bei weiterer Dehnung die Zugspannung zunächst an. Sie erreicht ihr Maximum bei der Zugfestigkeit R_m . Jenseits davon überwiegt der Querschnittsverlust durch Einschnürung die Verfestigung und die Spannung nimmt bis zum Zerreißen beim Erreichen der Bruchdehnung⁵ wieder ab.

1.3.2 Festigkeit gegossener Bronze

In der archäologischen Literatur wird meist apodiktisch erklärt, das Optimum der Materialeigenschaften werde bei einem Zinngehalt von genau 10 % erzielt. Tatsächlich weisen zwar die standardisierten Brozen der mittleren und späten

⁵ Genau genommen ist sie um den Betrag des Zurückfederns kleiner. In der Praxis ist dieser Anteil – bei Kupfer und Bronze weniger als ein Promille – vollkommen vernachlässigbar

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

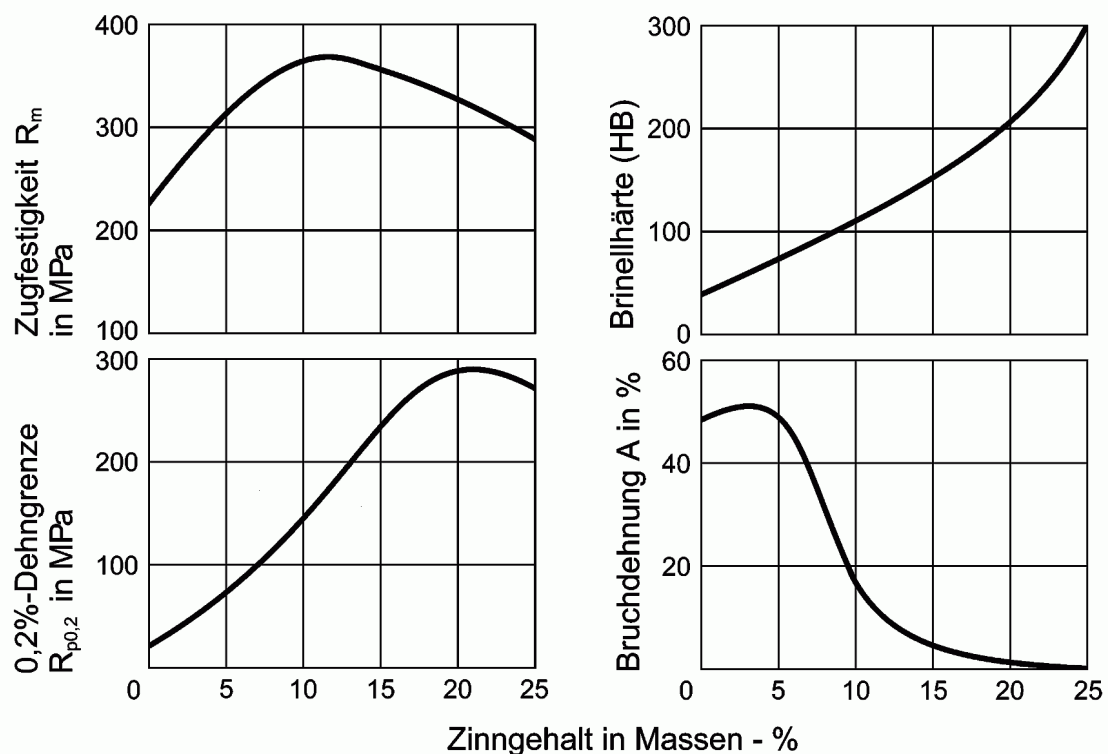


Abbildung 5: Festigkeitswerte gegossener Zinnbronze (Kupferinstitut 2004a).

Bronzezeit regelhaft diesen Gehalt auf, die Materialdaten geben aber keinen Grund her, warum genau dieser Gehalt optimal sein sollte. Zehn Prozent Zinn entsprechen zwar dem Maximum der Zugfestigkeit, unbrauchbar wird eine Waffe aber nicht erst beim Bruch sondern schon bei starker Verbiegung, also Überschreiten der Dehngrenze. Die Härte, also die Fähigkeit, die Schärfe der Schneide zu halten, nimmt auch jenseits von 25 % mit steigendem Zinngehalt weiter zu, die Bruchdehnung dagegen nimmt stark ab, der Werkstoff wird spröde.

Die Steifigkeit der Bronze steigt mit steigendem Zinngehalt nicht sondern nimmt im Gegenteil fast im gesamten Bereich stetig ab.

Eine letzte, in der Praxis aber vielleicht die wichtigste Festigkeitskenngröße ist die Kerbschlagzähigkeit. Im Kampf wird eine Waffe nicht als Hebel gebogen sondern Schlägen ausgesetzt. Bei einem Schlag kann die Kraft im Moment des Auftreffens fast beliebig hoch ansteigen, begrenzt sind sein Impuls und seine Energie. Physikalisch ist Energie gleich Kraft mal Weg, dem entsprechen als Materialdaten Festigkeit mal Bruchdehnung. Ein hochfester, spröder Werkstoff baut zwar zunächst eine hohe Gegenkraft auf, versagt aber schon bei minimaler Verformung ganz. Dagegen wirkt die geringere Gegenkraft eines zähen Werkstoff-

Materialeigenschaften: Was macht die Bronze so überlegen?

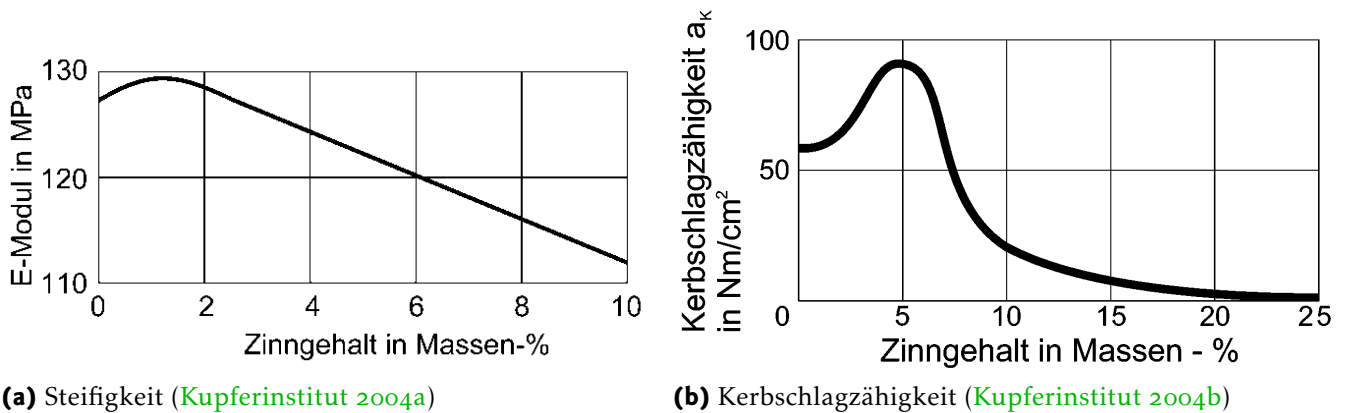


Abbildung 6: Die Steifigkeit und Kerbschlagzähigkeit gegossener Bronze in Abhängigkeit vom Zinngehalt. Achtung: Die Quelle ist hier fehlerhaft, die Einheit für den E-Modul lautet GPa, nicht MPa.

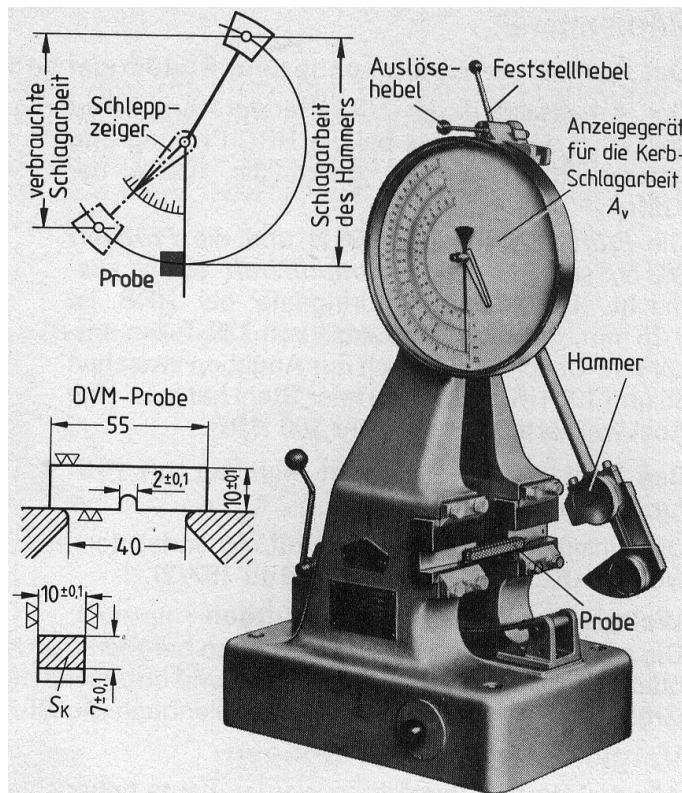
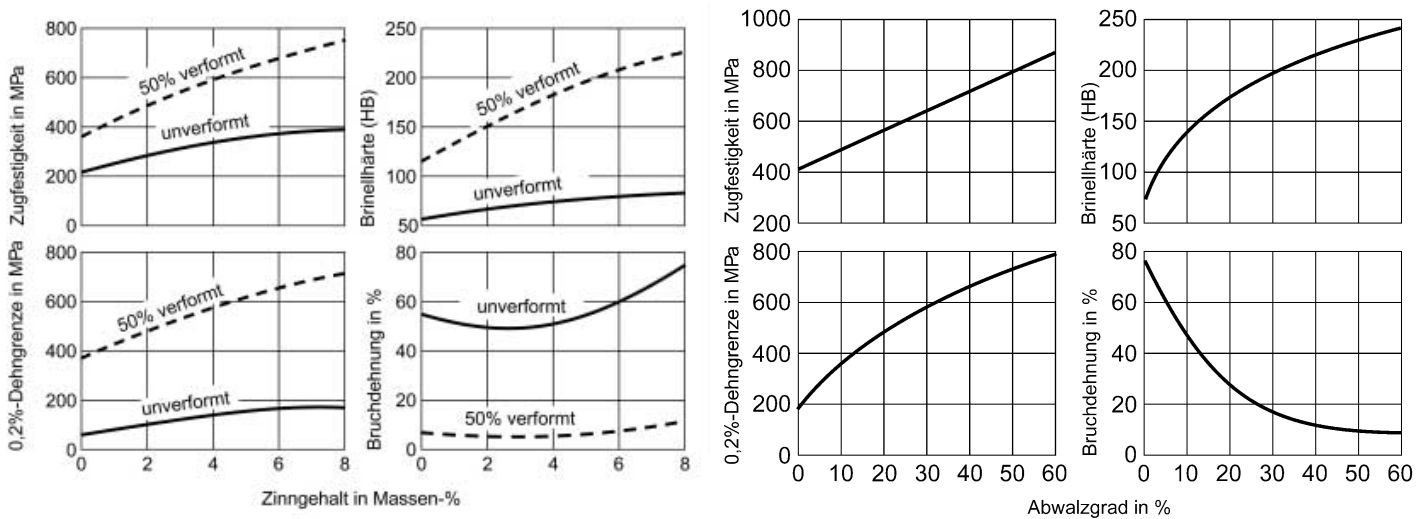


Abbildung 7: Der Meßaufbau für die Kerbschlagzähigkeit. Gemessen wird die Höhe, bis zu der der Hammer hinter der Probe durchschwingt, und damit die von der Probe aufgenommene Energie (Metallberufe 1981, 158).

es gleichmäßig über eine große Verformung und baut auf dem gesamten Weg Energie ab. Im Meßaufbau (Abb. 7) wird ein Probekörper genau definierter Form durch den Aufprall eines Hammers so weit verformt, bis er entweder bricht oder

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Wirkung der Kaltverfestigung bei steigenden Zinngehalt⁶ (b) Kaltverfestigung einer Bronze mit 8% Zinngehalt

Abbildung 8: Die Wirkung der Kaltverformung auf Zugfestigkeit, Dehngrenze, Härte und Bruchdehnung (Kupferinstitut 2004b).

zwischen seinen beiden Auflagern hindurchgeschoben wird. Das Optimum der Kerbschlagzähigkeit liegt für gegossene Bronze bei einem Zinnanteil von 5%, darüber sinkt die Bruchdehnung weit schneller, als die Festigkeit zunimmt.

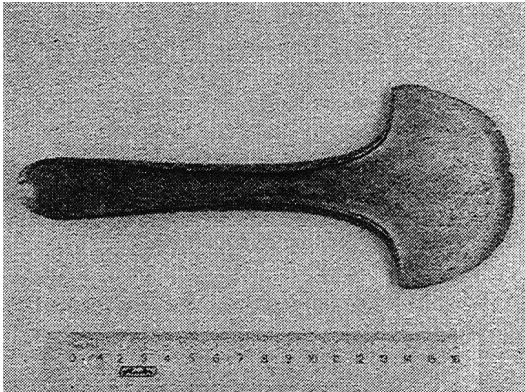
1.3.3 Festigkeit und Härte nach Kaltverformung

Wie bei den meisten Metallen lassen sich auch bei Kupfer und Bronze die Festigkeit und Härte durch Kaltverformung deutlich steigern. Die Steifigkeit des Materials bleibt dabei wie üblich nahezu unverändert. Die Dehngrenze steigt deutlich stärker an als die Zugfestigkeit und wird zu dieser durch Versprödung und minimale Bruchdehnung nahezu identisch. Den größten Einfluß übt die Kaltverformung auf die Härte der Zinnbronze aus. Gemessen werden die Daten meist an kalt dünner gewalzten Blechen und als Maß für die Umformung wird die Abnahme der Anfangsdicke in Prozent angegeben.

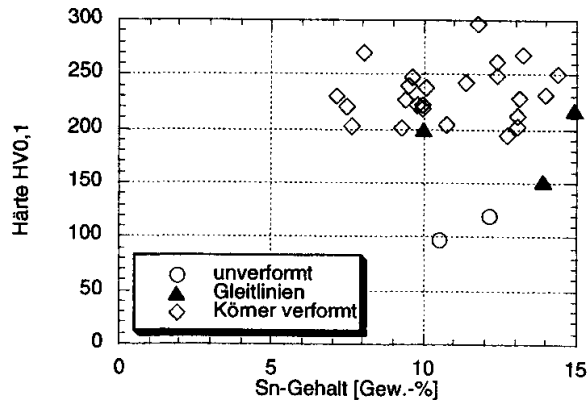
Die Kenntnis und Anwendung der Kaltverfestigung läßt sich exemplarisch an Randleistenbeilen vom Typ Langquaid nachweisen. Während der Schaft nach dem Guß unverändert bleibt, erhält die Schneide ihre endgültige Form erst nach

⁶ Der Verlauf der Bruchdehnung in diesem Diagramm steht im Widerspruch zu allen anderen Darstellungen und dürfte falsch sein.

Materialeigenschaften: Was macht die Bronze so überlegen?



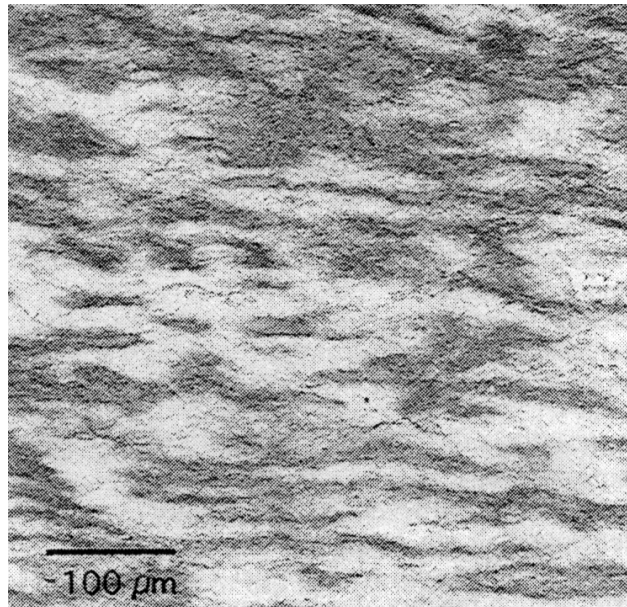
(a) Randleistenbeil vom Typ Langquaid aus Vaihingen, Baden-Württemberg



(b) Zinngehalte, Verformungen und erzielte Härte der Langquaid-Beile

Abbildung 9: Langquaid-Beile mit gehärteter Schneide durch Kaltschmieden (Kienlin 2004).

Abbildung 10: Verformtes Gefüge im Bereich der kaltgeschmiedeten Schneide eines Langquaid-Beiles. Umgeformte Mischkristallseigerungen und Kupfersulfide sowie aufgebrochene δ -Partikel belegen die hohe Gesamtumformung; Gleitlinien und verformte Körner der finalen Kaltverformung. (Kienlin 2004).



deutlicher Umformung durch Schmieden. Der relativ enge Bereich der erzielten Härtewerte trotz erheblich schwankenden Zinngehaltes beweist, wie genau die Handwerker die Eigenschaften des Materials und die zerstörungsfrei zulässige Maximalverformung einzuschätzen wußten, obwohl die sicher auch vorhandenen mißlungenen Stücke sicher wieder eingeschmolzen wurden und uns zum Vergleich heute fehlen.

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

	Brinellhärte
Reines geglühtes Kupfer	40–50 kp/mm ²
Kaltgeschmiedetes Kupfer mit 0,4 % Zinn	118 kp/mm ²
Kaltgeschmiedetes Kupfer mit 5 % Zinn	203 kp/mm ²
Kaltgeschmiedetes Kupfer mit 10 % Zinn	230 kp/mm ²

Zum Vergleich sei angeführt, daß Schmiedeeisen eine Brinellhärte von 70–80 kp/mm², ein geschmiedeter, nicht abgeschreckter Stahl mit 0,55 % Kohlenstoffgehalt eine Härte von 246 kp/mm² aufweist, also etwa soviel wie eine kaltgeschmiedete 10prozentige Zinnbronze.

Tabelle 1: Härtevergleich von Kupfer, Bronze und Eisen (Spindler 1971, 199).

1.4 Qualitätsvergleich der Bronze zum Eisen

Mit Ausnahme vielleicht des äußerst aufwendig geschmiedeten Damaszenerstahls aus indischem Wootz ist Eisen bis zur Entwicklung des Gußstahls an der Schwelle des 19. Jh. einer gut kaltverfestigten Bronze keineswegs überlegen (Tab. 1). Im Übergang ersetzte Eisen die Bronze zuerst in Werkzeugen und erst später in Waffen, ein Hinweis, daß es als minderwertige Alternative und Ersatzwerkstoff angesehen wurde.⁷ In der römischen Armee trugen die Offiziere noch Bronzeschwerter lange nachdem die einfachen Soldaten mit Eisenschwertern ausgerüstet waren. Zeitlich fällt der Übergang mit einem Zusammenbruch der Handelsnetzwerke und vermutlich daraus resultierendem Rohstoffmangel, Zinn ist wegen der ungleichmäßigeren Verteilung hier wahrscheinlicher als Kupfer (Cramer 1995). Ein weiterer Grund ist der nur halb so große Holzkohlebedarf bei der Verhüttung⁸ verbunden mit der viel gleichmäßigeren räumlichen Verteilung der Eisenerze. Die Konzentration der Kupfererze auf wenige Orte hatte einen hohen lokalen Holzbedarf zur Folge, der bei steigender Bevölkerung und Nachfrage nach Metall vermutlich nicht mehr befriedigt werden konnte (Horne 1982).

⁷ Siehe dazu allerdings die gegenteilige Position von Vagn Buchwald (Buchwald 2005, 68 f)

⁸ Allerdings kehrt sich nach Buchwald dieser ursprüngliche Vorteil durch den weiteren Energiebedarf zum Ausschmieden der Luppe und die dabei entstehenden großen Verluste ins Gegenteil (Buchwald 2005, 98).

2 Woher kam das erste Zinn?

2.1 Vorläufer der Zinnbronze

Bereits lange vor dem Aufkommen der standardisierten Zinnbronzen wurde das ursprünglich reine Kupfer zunehmend durch solches mit erheblichen Anteilen anderer Legierungselemente ersetzt (Krause 1998). Technisch handelt es sich dabei⁹ um Bronzen; für die damaligen Handwerker dürfte es sich jedoch nicht um Legierungen sondern um besonders hochwertiges Kupfer gehandelt haben. Keines der Legierungselemente, hauptsächlich Arsen, aber auch Nickel, Antimon und Silber (Zwicker 1991, Kienlin 2004, 5), wurde damals als Metall verhüttet sondern direkt aus Mischerzen die Bronze gewonnen. Das Phänomen ist auch aus neuerer Zeit noch bekannt. Das an den beiden Erzbergen in Kärnten und in der Steiermark gewonnene Eisen ist seit alters her für seine besondere Qualität berühmt, obwohl das dafür verantwortliche Mangan – heute ein wichtiges Legierungselement und Voraussetzung für das Bessemer-Verfahren der Stahlherstellung – als Element erst Ende des 18. Jh. entdeckt wurde (Buchwald 2005, Moshage 1960). Die keltischen Noriker lieferten nahezu die gesamte Produktion an die römische Armee und ihr Eisen war als *ferrum noricum* bekannt genug, um von Ovid als Bild für außerordentliche Härte, vergleichbar der einer Frauenseele, verwendet zu werden.¹⁰

Tylecote nimmt allerdings an, man habe bei der Verhüttung dem Kupfer auch Arsenerz bewußt zugegeben (Tylecote 1991, 219). Typisch für diese Gruppen sind die Beile vom Typ Salez aus dem Depotfund von Sennwald-Salez im Kanton Sankt Gallen mit einem Gehalt an Nebenelementen von bis zu 15 % (Abb. 11). Auffallend ist hier die weitgehende Unabhängigkeit der erzielten Härte vom Nebenelementgehalt durch optimale Adaption der Kaltverformung an das Material. Diese Anpassung des Schmiedens an den Werkstoff läßt sich im Schliffbild (Abb. 12) zweifelsfrei belegen. Der sich aufdrängende Eindruck einer hervorragenden Materialbeherrschung muß allerdings deutlich relativiert werden. Im

⁹ Mit Ausnahme der Messinge, deren Hauptlegierungselement Zink bildet.

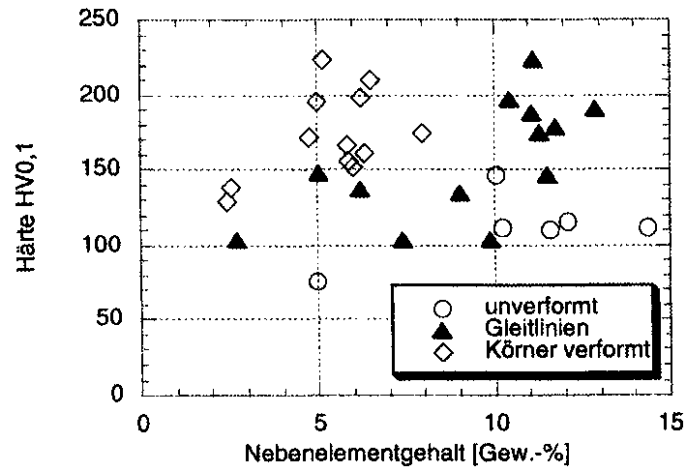
¹⁰ Saevior illa freto surgente cadentibus Haedis,
durior et ferro, quod Noricus excoquit ignis,
et saxo, quod adhuc vivum radice tenetur,
spernit et inridet, factisque inmitibus addit
verba superba ferox et spe quoque fraudat amantem.

Metamorphosen, XIV. Buch, 711–715

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

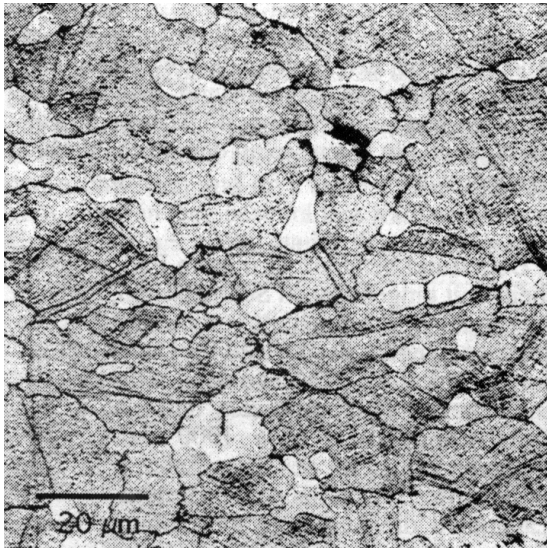


(a) Beil des Typs Salez aus dem namensgebenden Depotfund

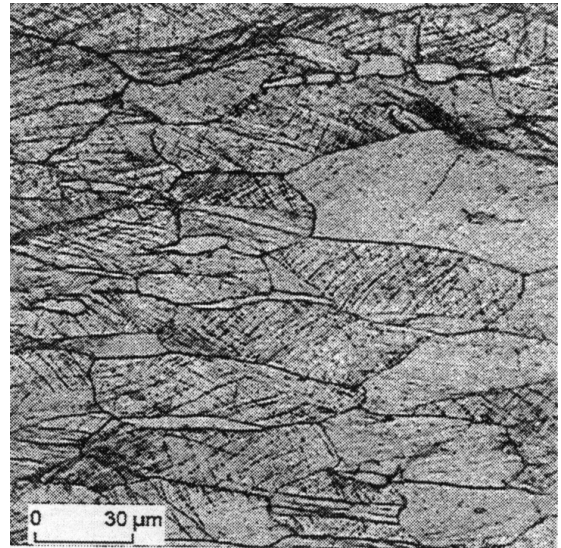


(b) Nebenelementgehalt und erreichte Härte

Abbildung 11: Nebenelementgehalte und erreichte Härten der Beile aus dem Depotfund von Salez, Sankt Gallen (Kienlin 2004, 6).



(a) Partielle Rekristallisation mit Zwillingsbildung im klingennahen Bereich und Gleitlinien



(b) Stärkere Umformung mit Gleitlinien und verformten Körnern in einem nebenelementärmeren Beil; die verformten Sulfide belegen eine recht hohe Gesamtumformung

Abbildung 12: Unterschiedlich intensive Kaltumformung an Beilen vom Typ Salez in Abhängigkeit vom Nebenelementgehalt (Kienlin 2004, 7).

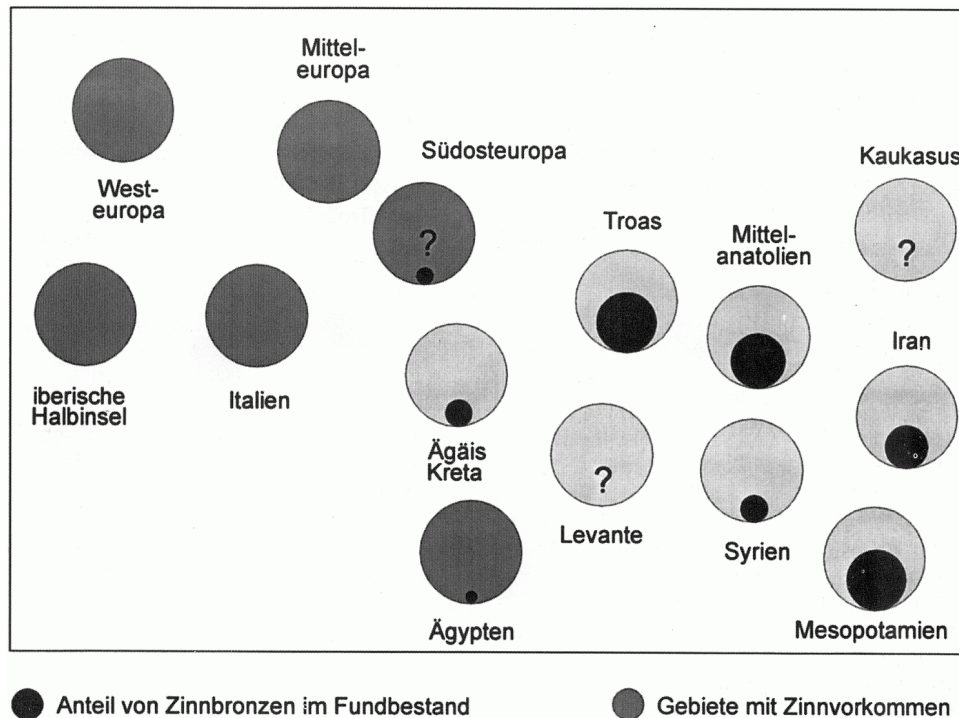


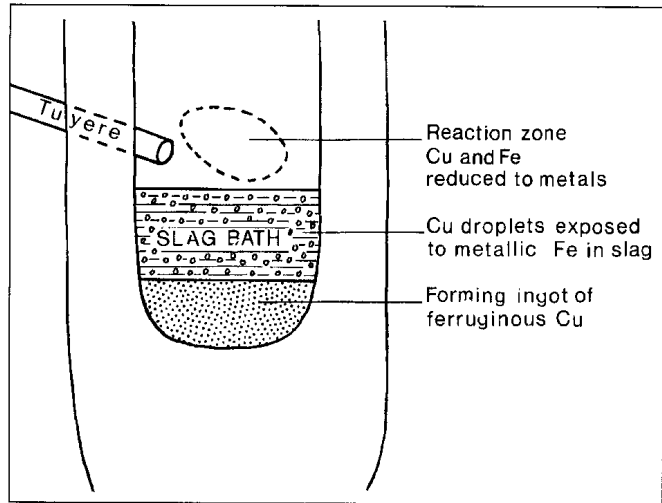
Abbildung 13: Verbreitung der Zinnbronze in der westlichen Alten Welt in der Frühbronzezeit vor etwa 2200 BC (Pernicka 1998, 139).

Gegensatz zu Steinwerkzeugen wurden mißlungene Stücke wieder eingeschmolzen und fehlen im Fundmaterial – eine vergleichbare Verzerrung zum *publication bias* der modernen Wissenschaft.

2.2 Der Beginn in Mesopotamien

Die ersten hochlegierten echten Bronzeeräte des dritten Jahrtausends stammen aus Mesopotamien, einer Region ganz ohne Bodenschätze. Das dort genutzte Kupfer kam von der arabischen Halbinsel, aus Oman (Weisgerber 1991), die Zinnquellen blieben jedoch lange rätselhaft. In der Natur tritt Zinn ziemlich sicher gediegen nicht auf (Spindler 1971, 200), es kann also nicht wie Gold, Silber und Kupfer direkt erkannt und gefunden worden sein. Im Gegensatz zu Kupfer fallen seine Erze auch nicht durch ihre Farbigkeit auf, die bei bereits vorhandener Metallurgieerfahrung zum Experimentieren einladen könnte. Für die erste Begegnung mit dem neuen Metall kommen demnach vor allem die Gegenden infrage, wo es mit Kupfer vergesellschaftet auftritt, was die meisten bekannten Vorkommen von vornherein ausschließt.

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Ringförmiger Tonherd in Los Millares. Bruchstücke von Kupfererz, Tropfen metallischen Kupfers und verschlackte Oberflächen beweisen die Nutzung für die Kupferverhüttung

(b) Ein effizienter stark reduzierender Verhüttungssofen mit Bildung von Schlacke und metallischem Eisen

Abbildung 14: Vergleich der Kupferverhüttung der mittleren Bronzezeit in Europa und im Nahen Osten (Craddock 1999).

2.2.1 Zinnfreie Kupferverhüttung im Westen

Kupfer ist ein recht edles Metall, das schon in einer relativ schwach reduzierenden Atmosphäre erfolgreich verhüttet werden kann, die in flach ausgehobenen Herden unter Holzkohle mit einfacher Technik zuverlässig erreicht wird. In Westeuropa, Großbritannien, Nordfrankreich und auf der Iberischen Halbinsel, den wichtigsten bekannten Zinnquellen der mittleren und späten Bronzezeit, wurde dieses ineffiziente Verfahren (Abb. 14a, Tafel 4) bis zum Beginn der Eisenzeit in der Mitte des 1. Jt. vC beibehalten (Craddock 1999, 183, Craddock 1993, 52–4). Sein Ergebnis ist ein reines fast völlig eisenfreies Kupfer. Zusammen mit dem Eisen wird in diesem Verfahren auch das ähnlich unedle Zinn¹¹ nicht reduziert. An einem frühbronzezeitlichen Reduktionstiegel aus Villaviciosa de Odón, Madrid, konnte diese Annahme praktisch bestätigt werden (Rovira 2003). Die im Umfeld ausgebeuteten Kupfererze und die Schlackenreste an Reduziertiegeln weisen Zinngehalte von 2.5 % bis 8.5 % auf, das erschmolzene Kupfer ist bis auf Spuren zinnfrei (Tab. 2, 3, 4 und Tafel 5).

¹¹ Die Beständigkeit metallischen Zinns, z. B. in Trinkgefäßen, beruht genau wie beim ähnlich unedlen Aluminium (und bei rostfreiem Stahl) auf der Bildung einer dichten, undurchlässigen Oxidschicht.

NUM_ANALIS	TIPO	FE	NI	CU	ZN	AS	AG	SN	SB	PB
PA3046	Palmela arrowhead	0.04	nd	99.5	nd	0.20	0.017	0,004	0.154	nd
PA3047A	Metal drop	0.96	nd	96.0	nd	2.87	tr	0,17	nd	nd
PA3047	Smelting crucible	17.8	nd	65.3	nd	11.9	nd	5,08	nd	nd
PA3048	Smelting crucible	49.6	nd	24.4	nd	22.5	0.107	0,36	0.066	2.50

Tabelle 2: Röntgenfluoreszenzanalyse an Funden aus Villaviciosa de Odón, Madrid (Rovira 2003, 20).

2.2.2 Stark reduzierende Verhüttung im Nahen Osten

Im Nahen Osten erfolgte dagegen durch die hohe Nachfrage schon früh, in der ersten Hälfte des 3. Jt. vC (Craddock 1999, 182–3), ein Wechsel zur deutlich effizienteren, schlackebildenden Verhüttung (Abb. 14b).¹² Der hohe Eisengehalt des so gewonnenen Rohkupfers mußte in einem separaten Schritt durch Schmelzen mit Luftzutritt abgeschieden werden. Im Fundmaterial zeigt sich dieser Wandel in einem sprunghaften Anstieg des Eisengehaltes der Kupfergeräte um eine Größenordnung, von weniger als 0.03 % auf ca. 0.3 %. Wie Versuche zeigen (Rovira 2003, 18–9) erlaubt dieses Verfahren auch die direkte Erzeugung von Zinnbronze aus Mischerzen oder die Zugabe von Zinnerz zu flüssigem Kupfer (Pernicka 1998, 137–8). Generell wird unterstellt, die standardisierten und hohen Zinngehalte echter Bronze seien ausschließlich durch das Zusammenschmelzen metallischen Zinns mit metallischem Kupfer erzeugt worden. Für die mittlere und späte Bronzezeit ist das auch gut belegt, zudem gibt es zahlreiche Funde von Zinnbarren und -gegenständen. Aus der Frühbronzezeit ist metallisches Zinn dagegen so gut wie unbekannt. Der Versuch des Beweises aus den Mischungsangaben der frühesten Schriftquellen (Muhly 1973b, 116) kann hier nicht überzeugen. Einmal ist der Massenunterschied zwischen oxidischem Zinnerz und dem enthaltenen Zinn nur gering¹³ und zweitens liegt das angegebene Verhältnis in den ältesten Quellen mit 1:6–1:8 außergewöhnlich hoch. Wurde kein reines sondern etwas verdünntes „Zinn“ zugesetzt, ergäbe sich daraus eine Bronze mit dem üblichen Gehalt von wenig mehr als 10 %. Offen bleibt in jedem Fall die Frage nach der Herkunft dieses Zinns.

¹² Mit rund einem Jahrtausend Verzögerung gelangte diese Technik auch nach Südost- und Zentraleuropa. Während die schlecht kontrollierte und schwankende Luftzufuhr im offenen Herdprozess das Rösten (Oxidation) und die anschließende Reduktion sulphidischer Erze in einem Schritt erlaubte (Rovira 2002, 91), setzten die effizienteren Öfen im Südosten die Verwendung oxidischer Erze zwingend voraus. Teilweise wird ein beobachteter Hiatus in der späten Kupferzeit Südosteuropas auf die Erschöpfung der oxidischen Erze zurückgeführt (Craddock 1999, 177). Vor der Nutzung sulphidischen Erzes mußte erst das Rösten als notwendiger Zusatzschritt entdeckt werden.

¹³ Der Zinngehalt von Kassiterit, SnO₂, beträgt 79 %.

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

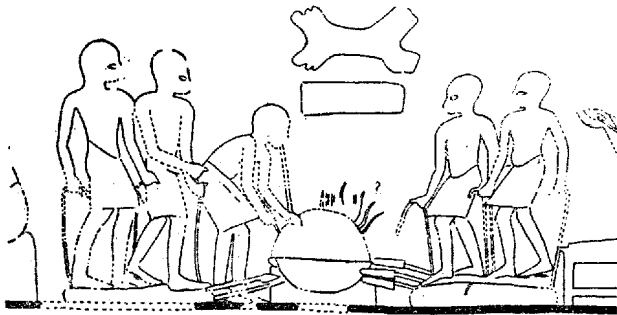


Abbildung 15: Herstellung von Zinnbronze über einem von vier Blasebalgpaaren angefachten Kohlefeuer. Die gezeigten Bestandteile sind (im Original rotes) Kupfer in Form eines gängigen Ochsenhautbarrens und (blaugraues) quaderförmiges Zinn. Ägyptische Darstellung aus der Zeit Amenhoteps III., 1385–1370 BC (Wainwright 1943, 97).

2.2.3 Kulturkontakte von Mesopotamien nach Zentralasien

Es gibt in mesopotamischen Schriftquellen Angaben zum Handel und zur Herkunft des Kupfers nicht aber von *Annaku*, das allgemein mit Zinn übersetzt¹⁴ wird. Das Kupferland Makan und die Handelsstation Dilmun konnten als Oman auf der arabischen Halbinsel und die vorgelagerte Insel Bahrain identifiziert werden (Weisgerber 1991, Muhly 1985, 281–2). In dieser Region tritt Zinn sicher nicht auf, auch das kleine Vorkommen in Ägypten wurde erst sehr viel später ausgebeutet (Muhly 1985, 283). Von Strabo gibt es einen Hinweis, in der Drangiana, einer achämenidischen Satrapie am Helmandfluß, die Teile des heutigen Afghanistan, Pakistan und Iran umschließt, gebe es nichts besonderes außer Zinn (Cierny 2005, 433). Für die Handelsrouten des Zinns sind wir daher auf indirekte Hinweise angewiesen.

Gold und Lapislazuli aus Afghanistan

Gleichzeitig mit den ersten Zinnbronzen in den Königsgräbern von Ur und (deutlich später) im Palast von Ebla in Nordsyrien treten erstmals auch Gold und Lapislazuli auf. Alle drei Rohstoffe werden in Afghanistan gefunden (Muhly 1985, Cleuziou 1982). Einer Nachuntersuchung von John E. Dayton, einem Geologen, zufolge sind die afghanischen Zinnvorkommen jedoch unbedeutend und zeigen keinerlei Anzeichen, je ausgebeutet worden zu sein (Dayton 2003, 167).

Afghanische Rohstoffe können auf zwei Wegen nach Mesopotamien gelangt sein. Der Seeweg entlang der arabischen Küste des Persischen Golfes war die wichtigste Handelsstraße für das Kupfer von Makan und alle über Meluhha verhandelten Güter, Lapislazuli, Karneol, Elfenbein, Kupfer und Edelhölzer. Die Lage von Meluhha ist umstritten wird aber meist südöstlich des Indus in Indien verortet. Es gibt keinerlei Hinweis, daß Zinn auf dieser Route verhandelt wurde, alle Funde auf ihren Zwischenstationen wie Bahrain sind auffallend zinnarm.

Die zweite Route führt auf dem Landweg über die Persische Hochebene und

¹⁴ Einwände gegen diese Deutung finden sich bei Dayton 1971 und Dayton 1973.

das Zagrosgebirge (Tafel 6). An Fundplätzen entlang dieser Strecke wurden Zinn aus dem 4. Jt. vC in Tepe Sian sowie Lapislazuli und andere Rohstoffe in Tepe Giyan und Tepe Hissar gefunden (Cleuziou 1982, 17).

Ein elamitischer Streufund aus Soch, Fergana

In Soch, Fergana, im Bereich der zentralasiatischen Oasenkultur (BMAC, Bactria-Margiana Archaeological Complex) wurde ein schwarzes Steinobjekt aus Elam gefunden, das Brentjes auf die Mitte des 3. Jt. vC datiert (Tafel 7, Brentjes 1971, Пугаченкова 1965, 24+423).

Funde der zentralasiatischen Oasenkultur (BMAC) am Persischen Golf

In der Gegenrichtung sind die Funde erheblich zahlreicher.

Keramikkelche In etlichen Gräbern auf Bahrain (Dilmun) wurden Keramikkelche in der charakteristischen Form für den Baktrien-Margiana-Komplex (BMAC, Oasenkultur) mit dem typischen Absatz am Kopf des Schaftes gefunden (Tafel 9). Die verzierten Exemplare sind lokale Nachahmungen, zwei unverzierte, Tafeln 9a mitte und 9c rechts, hält Elisabeth During Caspers für Importe aus dem BMAC (During Caspers 1994, During Caspers 1995, 49).

Chloritgefäß Bei einem Kosmetiktöpfchen aus Chlorit im Grab A in Hili North, al-Ain Oase, Emirat abu Dhabi, UAR, handelt es sich um einen Import aus dem BMAC. Das Grab fällt in die Umm an-Nar Kultur, 2600–2000 vC (Tafel 10, During Caspers 1994, 37).

Bronzekelche Zwei Bronzekelche aus dem Grab A2, Asimah, Ras al Khaimah, UAE und aus Hamala North, Bahrain sind Importe aus dem BMAC (Tafel 11a, During Caspers 1995, 49).

Elfenbeinkamm Ein Elfenbeinkamm aus dem Umm an-Nar Grab im Tell Abraq, Emirat Umm al Qaiwain, UAR, ist ein Import aus dem BMAC (Tafel 11b, During Caspers 1995, 51–2).

Nachgeahmte Gefäße in Yurtenform Eine Gruppe von Chloritgefäßen mit horizontaler Ritzung sind wohl Nachahmungen ähnlicher Keramikgefäße des BMAC (Tafel 12b). Fundstellen sind das Grab A, Hili North, Abu Dhabi, UAR; die Siedlung Maysar-1, Oamn; das Umm an-Nar Grab 1059 in Hili, Abu Dhabi, UAE; die Qatarrah-Gruft und das Grab B in Ajman, UAE; sowie die Gräber des Komplexes von Sār el-Jisr, Bahrain (Tafel 12a).

Nachahmung eines baktrischen Spiegels Bei dem im Barbartempel II A auf Bahrain gefundenen Handgriff handelt es sich offenbar um die mißverständene Nachahmung eines baktrischen Handspiegels. Bei den Originalen nimmt der Spiegelteller die Rolle des Kopfes der anthropomorphen Griffe ein, die Nachahmung dagegen wird bei der Benutzung verkehrt herum gehalten (Tafel 12c, d, [During Caspers 1994](#), 43).

Probleme und Fragen

Auf der einen Seite belegen alle diese Funde weitreichende Kulturkontakte nach Osten, auf der anderen gibt es an allen diesen Zwischenstationen eines nicht oder nur in geringen Mengen – Zinn. Zweitens ist die Zeitstellung für unsere Frage zu jung. Alle arabischen Funde fallen in den Zeitraum 2 200–1 700 v. Chr., der auch der Laufzeit des BMAC entspricht. Ein drittes Problem ist die Richtung. Der Persische Golf liegt südöstlich von Mesopotamien; Anatolien und Troja nordwestlich davon. Wäre dies der Haupthandelsweg gewesen, so ist für die wichtigsten Güter ein Ost-West-Gefälle zu erwarten. Tatsächlich war Anatolien aber zinnreicher als Syrien und Mesopotamien. In Mesopotamien tritt Zinn zusammen mit Gold und Lapislazuli auf, in Troja gibt es zwar viel Gold, aus nicht notwendig denselben Quellen, Lapislazuli aber fehlt dort ganz ([Muhly 1985](#), 285). Auch in Troja beginnt die Zinnbronze mit Troja II um 2 500 v. Chr. Der Zinnring von Thermi auf Lesbos wird sogar noch früher in die Zeit von Troja I datiert.

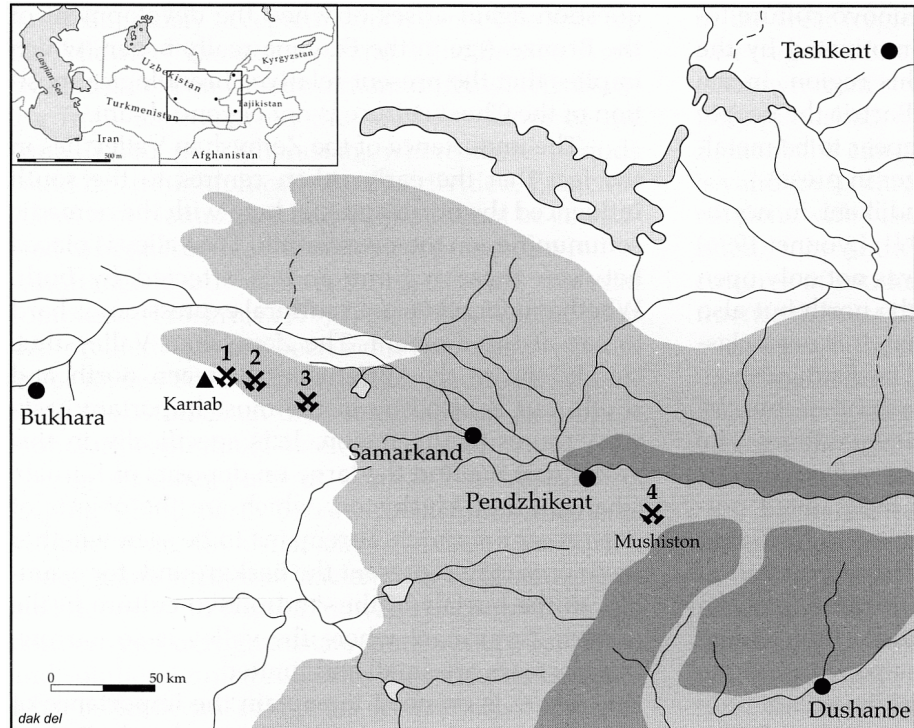
Wenn aber Kontakte zu einer östlichen Kultur belegt sind, dürften andere auch nicht unbekannt geblieben sein. Möglicherweise endete der obengenannte zinnführende Landweg nicht in der Oasenkultur BMAC sondern nördlich davon bei den auffallend reichen Nomaden der Andronovo-Kultur. Die Grabstätten dieser Kultur im östlichen, stark verengten Zeravshantal, das dort nur sehr beschränkte Weidemöglichkeiten bietet, legen nahe, daß etwas anderes sie in diese Gegend gezogen hat. Die Erzlagerstätten bieten sich als nächstliegender Grund an ([Alimov 1998](#), 146).

2.3 Zinnbergwerke im Zeravshantal

([Alimov 1998](#), [Boroffka 2002](#), [Cierny 2003](#), [Cierny 2005](#), [Parzinger 2001](#))

Das Tal des Zeravshan steigt von Bukhara und Samakand östlich an ins Tarimbekken zwischen Tibet und Tienshan. Der westliche Teil des Beckens ist heute die Taklamakanwüste, war früher aber noch feuchter und in der Bronzezeit besiedelt und Teil der späteren Seidenstraße. Die Bergwerke in der Nähe von Samarkand wurden bereits 1950 vom Archäologen Litvinskij beschrieben, der die geologische Prospektion der Gegend begleitete. Seine Mitteilung blieb jedoch lange

Abbildung 16: Zinnerzlagerstätten in Zentralasien:
1 Karnab,
2 Lapas,
3 Changali,
4 Mushiston
(Boroffka 2002, 140).



völlig unbeachtet. Erst Ende der neunziger Jahre wurde die Region vom Deutschen Archäologischen Institut, dem Bergbaumuseum Bochum, der Bergakademie Freiberg und den Akademien der Wissenschaften Uzbekistans und Tajikistans archäologisch erkundet.

2.3.1 Karnab

Karnab liegt in einer Höhe von 400–500 m in der Steppenlandschaft am Auslauf des Zeravshantals in Usbekistan und auf der Kreuzung zweier Karawanenrouten. Von rezenten Prospektionsgräben wurden zahlreiche Gruben angeschnitten, in denen fast senkrecht bis zur Oberfläche anstehende Erzadern ausgebeutet wurden. Geologisch handelt es sich, wie meist bei Zinn, um den Randbereich aufsteigenden granitischen Magmas im umgebenden Kalkstein. An stehengelassenen waagerechten Sicherheitspfeilern im Quarzgang kann man die 5–10 cm mächtige Zinnader gut erkennen. Es handelt sich dabei um das hochwertige, leicht zu verhüttende Erz Kassiterit SnO_2 . Allein aus der Grube 6/1 (Tafel 13) kann rund eine Tonne Zinn gewonnen worden sein, was, wie Cierny betont, recht genau der Ladung des Schiffes von Uluburun entspricht (Cierny 2005, 436). Abgesehen von den Einwänden aus Abschnitt 2.4 kann diese Menge dort aber kaum in kurzer Zeit auf einmal gewonnen worden sein. Für die 1 t Zinn waren 60 t Erz zu verhütten und

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



Abbildung 17: Die Grube 3/3 in Karnab. Die von der Prospektion oberflächlich angeschnittene Grube wurde archäologisch freigelegt (Alimov 1998, 176).

vorher rund 730 t Gestein mit Feuersetzungen abzubauen. Die dafür notwendigen Mengen Holz und Holzkohle waren in der baumarmen Region (Tafel 14) wohl nur verteilt über mehrere Jahre verfügbar. Datierungen der Gruben weisen in die erste Hälfte des 2. Jt. vC (Cierny 2003, 27).

Die Siedlung Sichkonchi

Im Zentrum der heutigen Kreisstadt Karnab erhebt sich ein Tell (Tafel 15). Anhand zweier Schnitte ließ sich seine Erstbesiedlung in die spätachämenidische Zeit (5.–2. Jh. vC) und sein Ende auf das 12. Jh. nC datieren, mit dem bronzezeitlichen Bergbau hat er also nichts zu tun. Aus der Kushan-Zeit (1.–4. Jh. nC) stammt eine starke Befestigungsanlage. Es ist unklar, ob in dieser Zeit noch Zinn abgebaut

wurde, wahrscheinlicher diente sie der Sicherung der beiden Karawanenwege auf diesem Teil der Seidenstraße.

Etwa einen Kilometer südlich der Gruben von Karnab wurde im Tal des Sichkonchi von einem Bulldozergraben unter einem Meter sterilem Löß eine bronzezeitliche Siedlung angeschnitten (Tafel 16, 17). Die Funde von Keramik und Steinwerkzeugen ordnen sie der Andronovokultur zu (1800–1300 v. Chr.). Zahlreiche immer wieder an nahezu gleicher Stelle angelegte Feuerstellen deuten auf den wiederholten saisonalen Bau von Zelten oder Yurten. Daneben gibt es Steinstrukturen von Grubenhäusern, die, wenn auch etwas kleiner, denen anderer Andronovosiedlungen gleichen. Die Öfen in den Grubenhäusern zeigen Spuren von Metallbearbeitung – Gießtropfen und ein Bronzebarren – und es fanden sich zahlreiche Bruchstücke von Rillenhämmern. Ohne Zweifel stand diese Siedlung in Zusammenhang mit dem Abbau der Lagerstätte und der Erzverarbeitung.

Lapas und Changali

Die beiden in der Nähe von Karnab gelegenen Reviere Lapas und Changali (Tafel 18) weisen ebenfalls alte Abbauspuren auf, konnten aber bisher nicht näher untersucht werden.

2.3.2 Mushiston

Den Zeravshan aufwärts liegt oberhalb eines Seitentals in einer Höhe von 2800–3000 m das Bergwerk von Mushiston (Tafel 19–21). Es handelt sich um eine große Lagerstätte und durch hydrothermale Umlagerung liegen hier außergewöhnlich reiche oxidische Erze vor. Das Primärerz $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$, in dem das Eisen auch von Zink substituiert sein kann, war für die alten Bergleute vermutlich ohne Bedeutung. Alle alten Baue und Stollen liegen in der ausgeprägten Oxidationszone. Neben Malachit $\text{Cu}_2[(\text{OH})_2|\text{CO}_3]$ und Kassiterit SnO_2 tritt hier auch das nach dieser Lagerstätte benannte Muschistonit $\text{CuSn}(\text{OH})_6$ auf. Kupfer und Zinn treten hier nahezu im Verhältnis 1:1 auf, bei der Verhüttung kann leicht eine natürliche Zinnbronze entstehen. Möglicherweise liegt in diesem außergewöhnlichen Erz die Erklärung für die Entdeckung des Zinns und der Bronze. In den Gängen gefundene Scherben verweisen auf die Andronovokultur als Träger des Bergbaus und mehrere Datierungen an gut erhaltenen Holzfunden fallen in die Mitte und das dritte Viertel des 2. Jt. v. Chr.

2.3.3 Sarazm

So reizvoll es ist, mit Karnab und Mushiston erstmals in Asien mittelbronzezeitlichen Zinnbergbau gefunden zu haben, bleibt doch die Erkenntnis, daß diese

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

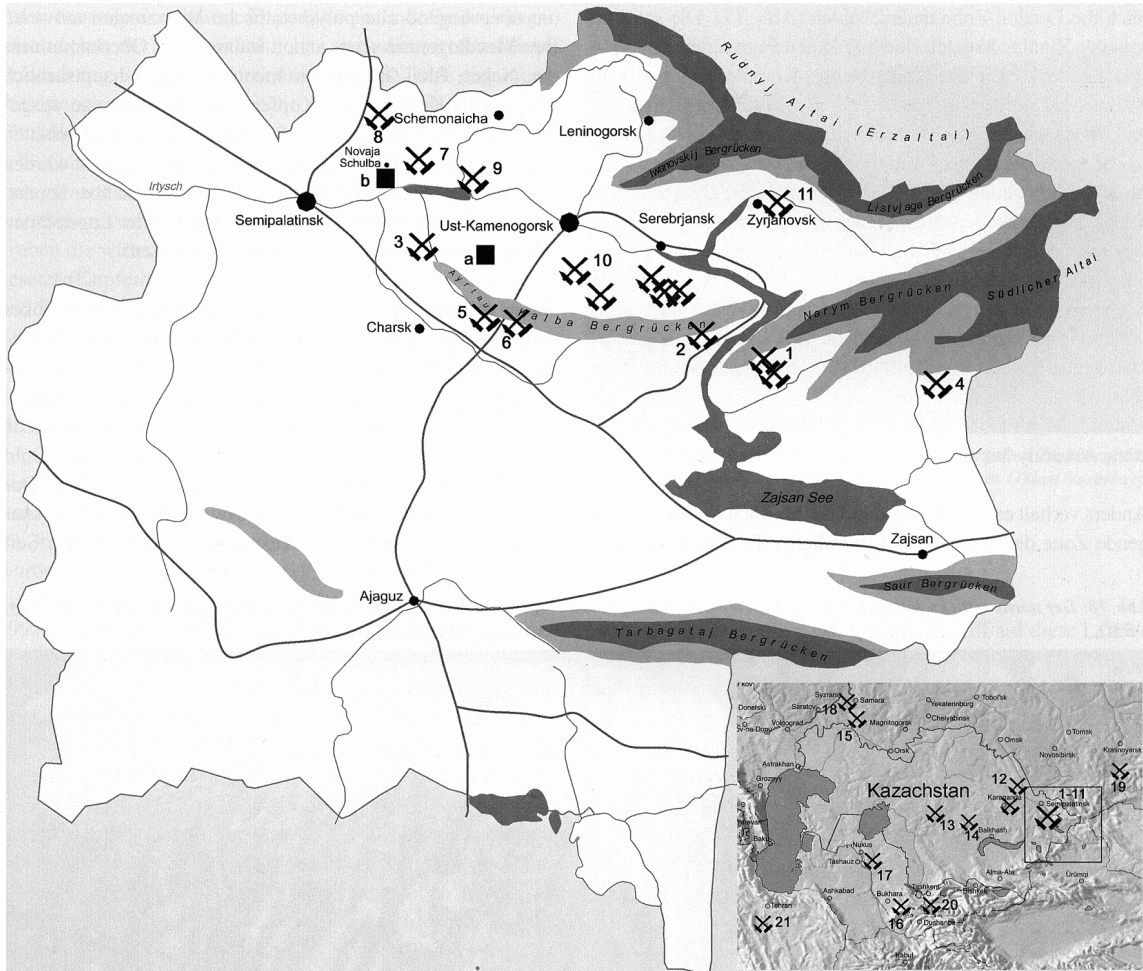


Abbildung 18: Karte des prähistorischen Bergbaus in Mittel- und Zentralasien sowie im Oblast Vostochnyj, Kasachstan. Zinnerze gibt es in Cherdajak 1, Chudskoje 2, Delbegtej 3, Mynchunkur 6, Ubinskoje 9, Urumchaj 10, Karnab 16, und Mushiston 20 (Cierny 2005, 441).

Bergwerke das früheste Zinn in Mesopotamien und Anatolien nicht geliefert haben können. Es gibt bisher keine Hinweise auf Abbau vor dem 2. Jt. vC und keine Kultur, die diesen Abbau geleistet haben könnte. Die mit dem Zeravshantal verbundene Andronovokultur beginnt nicht vor 1800 vC und ihre direkte Vorgängerkultur, Sintashta, verfügte zwar ebenfalls schon über Metall, allerdings ausschließlich zinnfreie Arsenbronze (Anthony 2009). Die Holzarmut der Region läßt zudem vermuten, daß der Abbau der bekannten Lagerstätten langsam und über Jahrhunderte erfolgt sein dürfte, so daß diese Quelle für die Empfängerländer wohl nie bedeutend wurde.

Es gibt jedoch einen weiteren bekannten Fundplatz im Zeravshantal, Sarazm

bei Pendzhikent (Abb. 16, Seite 19). Die Siedlung ist ans Ende des 4. und den Anfang des 3. Jt. vC datiert. Wie Funde von Schmelztiegeln beweisen wurde dort Metallurgie betrieben, über Zinn und Zinnbronze ist allerdings nichts bekannt (Alimov 1998, 145).

2.3.4 Ostkasachstan

Ein letztes noch wenig untersuchtes Bergbaurevier liegt im östlichen Kasachstan. Die Zinnlagerstätten, auch hier in den Randzonen aufsteigender Granite, gehören zu den geologisch ältesten bekannten und passen damit zum Isotopenbild der ältesten Bronzen und zum Zinnring von Thermi. Nur in Mittelasien und der Altaj-Region treten Zinn, Gold, Lapislazuli und Nephrit, die zusammen den Beginn der Bronzezeit in Mesopotamien und Anatolien markieren, gemeinsam auf (Alimov 1998, 142). Die dort beheimatete Afanasevokultur (ca. 3500–2500 vC) verfügte über Metall und Wagen mit Rädern und wird als Vorläufer der Tocharer oder der Indogermanen im Sinne Marija Gimbutas' diskutiert. Zinnbronze ist allerdings erst für die Okunevokultur um 2000 vC nachgewiesen (Cierny 2005, 443). Erste Untersuchungen in Askaraly im Delbegtej-Granitmassiv finden seit 2003 statt und belegen einen alten, vermutlich bronzezeitlichen Abbau (Tafel 22). Genauer datierbares Material konnte bisher nicht geborgen werden (Cierny 2005, 445). Die Herkunft des ältesten Zinns ist damit trotz zahlreicher, neuer, vielversprechender Ansätze noch immer ungeklärt.

2.4 Weitere mögliche Quellregionen

Die mitteldeutschen und böhmischen Erze wurden erst in der Spätbronze- und älteren Eisenzeit abgebaut. Danach verfiel der Bergbau und wurde erst im Mittelalter wieder aufgenommen (Simon 1993, 103–4). Das gilt allerdings nicht für Zinn. Die griechischen und römischen Schriftquellen kennen Zinn aus Cornwall, der Bretagne und von der Iberischen Halbinsel, erwähnen Deutschland aber an keiner einzigen Stelle. Die Geschichte des Festgesteinsbergbaus im Erzgebirge dürfte nicht weiter als bis ins 12. Jh. nE zurückreichen. Als in Cornwall im 16. Jh. nE das Zinn aus tieferen Gesteinsschichten abgebaut werden mußte, holte man deutsche Bergleute, die als einzige die nötige Erfahrung und Technik besaßen (Muhly 1985, 289–90). In der Bronzezeit wurde Zinn nach Deutschland importiert.

Der sensationelle Fund des 1982 entdeckten und bis 1993 geborgenen Schiffes von Uluburun erlaubte erstmals einen Einblick in den Umfang der Handelsnetzwerke der Spätbronzezeit im östlichen Mittelmeer. Der um 1340 vC datierte Untergang (Alimov 1998, 138) paßt zeitlich genau zum Alter der Holzstempel in

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

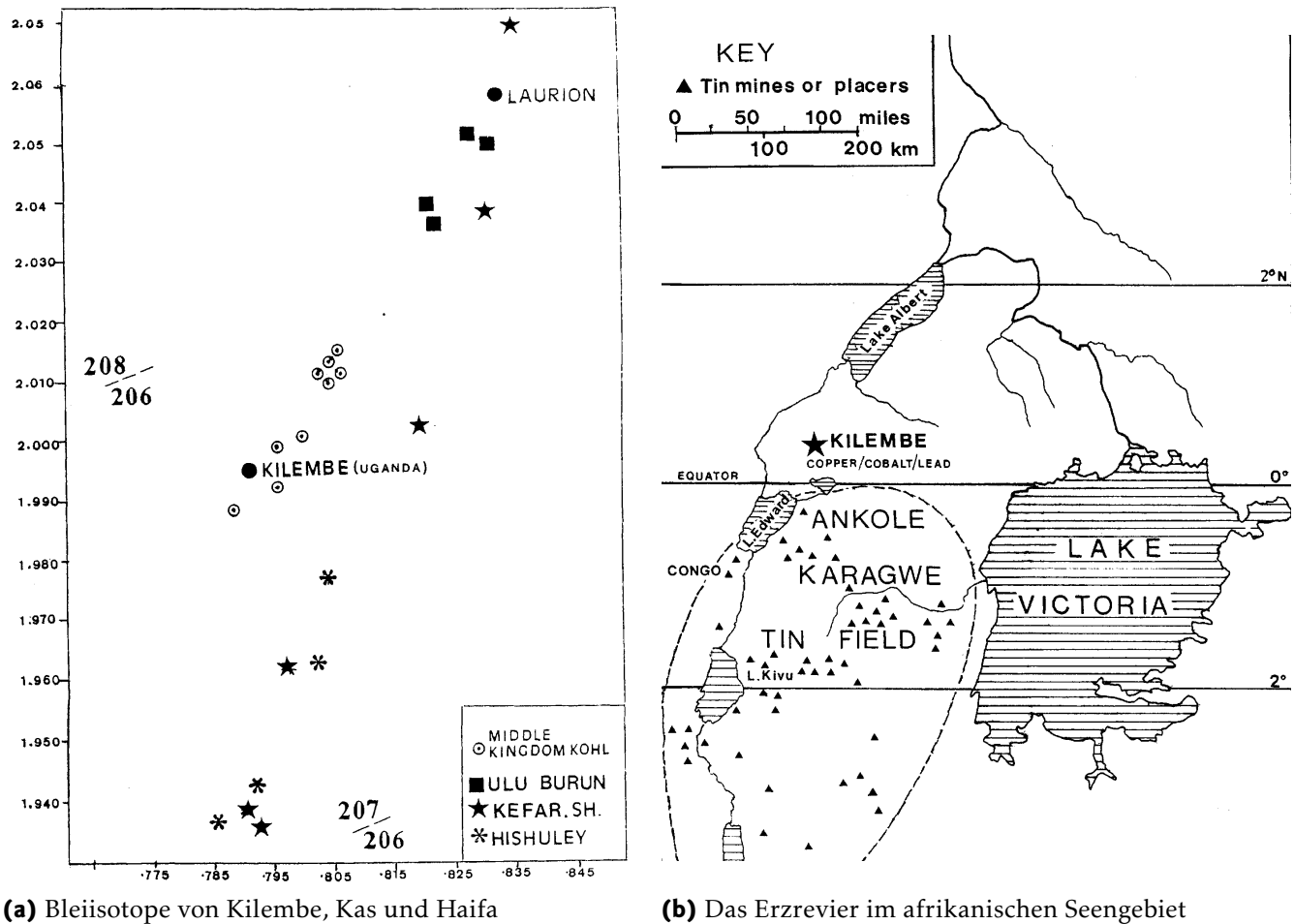


Abbildung 19: Gesteinsalter und Bleiisotope des Erzes aus Uganda, des Schiffes von Uluburun in Kas und der Barren aus dem Hafen von Haifa in Hishuley und Kefar Shamir (a) und Karte des Zinnreviers im afrikanischen Seengebiet (b) (Dayton 2003).

Mushiston. Auch die transportierte Zinnmenge paßt gut zur vermuteten Förderleistung. Das geladene Zinn ist jedoch, genau wie das aus dem Hafen von Haifa, geologisch viel zu jung, um aus Zentralasien stammen zu können (Tafel 23 und Abb. 19a). Weltweit paßt es fast nur zum Erzrevier in Zentralafrika, heute eines der wichtigsten Abbaugebiete (Abb. 19b, Dayton 2003). Da die Bronze notorisch spät gerade nach Ägypten kam, dürften diese Quellen in der frühen Bronzezeit kaum bekannt geworden sein. Seit der 5. Dynastie um 2500 vC trieb Ägypten jedoch intensiven Handel nach Punt in Zentralafrika mit Elfenbein, Ebenholz, Leopardenfellen, Gold und Pygmäen. Ab der 18. Dynastie, ca. 1530 vC, wurde auch in Ägypten systematisch Zinnbronze verwendet. Die Versorgung des östlichen

Woher kam das erste Zinn?

Mittelmeers mit Zinn könnte in der Spätbronzezeit also problemlos über Ägypten erfolgt sein. Ohne Zweifel stammt ein erheblicher Teil der übrigen Ladung des Schiffes von Uluburun von dort.

3 Die Anfänge der Bronzezeit in Zentraleuropa

Der Beginn der Bronzezeit in Zentraleuropa wird in der Regel auf 2 200 vC, den Beginn der beiden ersten sie tragenden Kulturen, Aunjetitz und die süddeutschen Frühbronzezeitgruppen (Tafel 24), festgelegt. Genaugenommen ist das mißverständlich, denn zu Beginn wurden von allen diesen Gruppen nur reines Kupfer und niedriglegierte Arsenbronzes verwendet, und zwar trotz eigenen Erzreichtums ausschließlich Importe. Die Zinnbronze setzt im gesamten Gebiet erst um 1 800–1 700 vC ein, dann aber schlagartig und sofort mit hohem und standardisiertem Zinngehalt (Tafel 25, Spindler 1971, 252, Kienlin 2010, 131). Dieser Zeitpunkt liegt rund 200–400 Jahre nach dem Beginn des bis in Neuzeit kontinuierlich durchlaufenden Zinnbergbaus in Cornwall (Muhly 1985, 287).

Gleichzeitigkeit mit dem mykenischen Griechenland

Für das 7. Jh. vC ist die Verwendung kornischen Zinns in Griechenland nachgewiesen. Davor kann sie nur vermutet werden. Einige auffällige Gleichzeitigkeiten springen jedoch ins Auge (Muhly 1973a, 410).

- In Griechenland treten Zinnbronze und Bernstein mit dem Beginn der mykenischen Schachtgräber gleichzeitig neu auf. Zur selben Zeit belegt das Auftreten von Fayence in Europa und der Ägäis das Aufleben eines regen Mittelmeerhandels.
- Gleichzeitig erscheinen in Europa und auf den Britischen Inseln mykenische Güter, Bronzeschwerter und -äxte, Knochen- und Elfenbeinobjekte, goldener Schmuck und kanellierte goldene Tassen wie die aus mykenischen Schachtgräbern (Abb. 20).
- Alle drei Werkstoffe, Zinn, Bernstein und Fayence, treten gemeinsam an einer auf ca. 1 400 vC datierten Halskette aus einem Moor bei Drente in Holland auf und belegen den Handel über die Nordsee.

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



Abbildung 20: Die goldene Tasse aus dem Rillaton Barrow, Wiltshire, England, entspricht den kannelierten Tassen vom Grabkreis A in Mykene und gilt als Beleg für Kulturkontakte (Muhly 1973a).

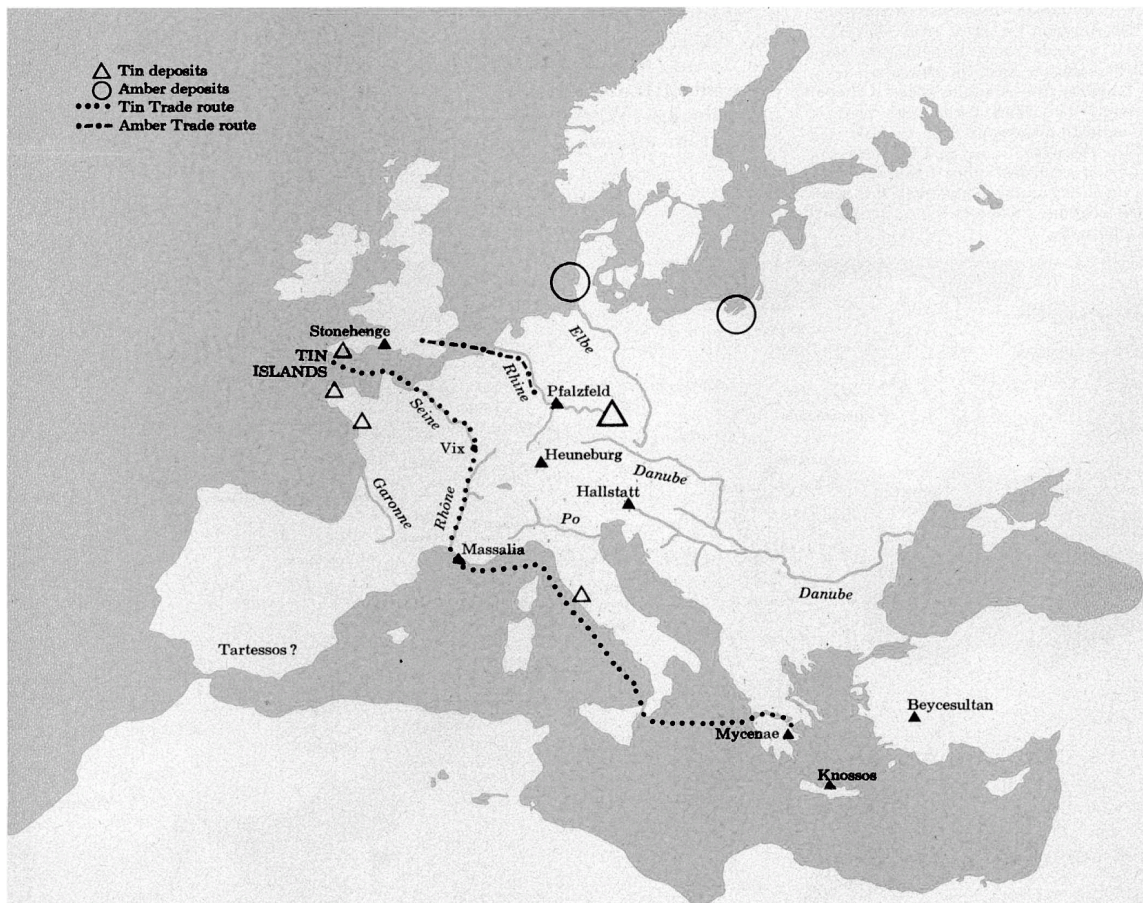


Abbildung 21: Die Handelswege des Zinns und des Bernsteins in der mittleren Bronzezeit (Muhly 1973a).



Abbildung 22: Verbreitung der Stabdolche in Europa und der Weg des wandernden Bronzezeitvolkes nach Siret (Bartelheim 1997, 278).

Handelswege des Zinns

Die Rohstoffe Zinn und Bernstein aus dem Norden und Statusgüter aus dem Mittelmeerraum bildeten also die Grundlage eines bedeutenden Handelsnetzwerkes (Abb. 21 und 22). Aus der Kontrolle über wichtige Abschnitte dieser Routen gewannen die Aunjetitzer Kultur und die südspanischen Hafenstädte¹⁵ ihre Macht und ihren Reichtum und sie erlaubte ihnen den Einsatz von Bronze in großen Mengen.

Rätselhafter Fernkontakt zwischen Böhmen und Spanien

Diese Erkenntnis trägt auch zur Lösung eines weiteren alten Rätsels bei, der auffallenden Ähnlichkeit zwischen den weit voneinander entfernten und auf direktem Weg nicht verbundenen Kulturen von Aunjetitz in Böhmen und El Agar in Südspanien. Louis Sirets Hypothese vom wandernden Bronzezeitvolk und einer gerichteten Ausbreitung von Böhmen über England nach Spanien aus dem Jahr 1913 ist klar überholt und, wie Martin Bartelheim zu recht bemerkt, sind Sirets Fundvergleiche (Tafel 26, 27) besonders suggestiv angeordnet und die Inventare bei genauem Hinsehen deutlich unterschiedlicher als der erste Anschein nahelegt (Bartelheim 1997, 279). Meines Erachtens übertreibt er aber damit, die

¹⁵ Die Route über das keltische Vix gewann erst in der Eisenzeit Bedeutung, als den griechischen Schiffen die Durchfahrt bei Gibraltar verwehrt wurde.

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

Ähnlichkeiten für reinen Zufall zu halten. Beide Kulturen lagen auf wichtigen von einem gemeinsamen Zentrum ausgehenden Handelswegen und Kulturaustausch und -einfluß sind alles andere als unerwartet. Sirets Wanderweg (Abb. 22) ist dann als zwei Wege ausgehend von Cornwall in Südengland zu lesen mit Irland als drittem, auch von England ausgehendem, Sonderweg.

Literaturverzeichnis

ALIMOV 1998

Kamildžan Alimov et al., *Prähistorischer Zinnbergbau in Mittelasien, Vorbericht der Kampagne 1997*. [Eurasia Antiqua 4 \(1998\), 137–199](#).

ANTHONY 2009

David W. Anthony, *The Sintashta Genesis, The Roles of Climate Change, Warfare, and Long-Distance Trade*. In: Bryan K. Hanks & Katheryn M. Linduff (Hrsg.), *Social Complexity in Prehistoric Eurasia, Monuments, Metals and Mobility*. (Cambridge 2010), 47–73. [DOI:10.1017/CBO9780511605376.005](#).

BARTELHEIM 1997

Martin Bartelheim, *Aunjetitz und El Argar, Neue Überlegungen zu einer alten Frage*. In: Cornelia Becker, Marie-Luise Dunkelmann, Carola Metzner-Nebelsick, Heidi Peter-Röcher, Manfred Roeder & Biba Teržan (Hrsg.), *Χρόνος, Beiträge zur Prähistorischen Archäologie zwischen Nord- und Südosteuropa, Festschrift für Bernhard Hänsel*. *Studia honoraria 1 (Espelkamp 1997), 275–285*.

BOROFFKA 2002

Nikolaus Boroffka, Jan Cierny, Joachim Lutz, Hermann Parzinger, Ernst Pernicka & Gerd Weisgerber, *Bronze Age Tin from Central Asia: Preliminary Notes*. In: Katie Boyle, Colin Renfrew & Marsha Levine (Hrsg.), *Ancient interactions: east and west in Eurasia*. (Cambridge 2002), 135–159.

BRENTJES 1971

Burchard Brentjes, *Ein elamitischer Streufund aus Soch, Fergana (Usbekistan)*. [Iran 9 \(1971\), 155](#).

BUCHWALD 2005

Vagn Fabritius Buchwald, *Iron and steel in ancient times*. *Historisk-filosofiske Skrifter 29 (Copenhagen 2005)*.

CIERNY 2003

Jan Cierny & Gerd Weisgerber, *Bronze Age Tin Mines in Central Asia*. In: Alessandra Giumlia-Mair & Fulvia Lo Schiavo (Hrsg.), *Le probleme de*

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

l'étain a l'origine de la métallurgie – The Problem of Early Tin, Acts of the XIVth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001. BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 23–31.

CIERNY 2005

Jan Cierny, Thomas Stöllner & Gerd Weisgerber, *Zinn in und aus Mittelasien.* In: Ünsal Yalçın, Cemal Pulak & Rainer Slotta (Hrsg.), *Das Schiff von Uluburun, Welthandel vor 3000 Jahren, Katalog der Ausstellung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum vom 15. Juli 2005 bis 16. Juli 2006.* (Bochum 2005), 431–448.

CLEUZIYOU 1982

Serge Cleuziou & Thierry Berthoud, *Early Tin in the Near East, A reassessment in the light of new evidence from western Afghanistan.* *Expedition* 25 (1982), i, 14–19.

CRADDOCK 1993

Paul T. Craddock, *A short review of the evidence for Bronze Age mining in the British Isles.* In: Heiko Steuer & Ulrich Zimmermann (Hrsg.), *Montanarchäologie in Europa, Int. Koll. „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“ in Freiburg i. Br. vom 4. bis 7. Oktober 1990.* Archäologie und Geschichte 4 (Sigmaringen 1993), 37–56.

CRADDOCK 1999

Paul T. Craddock, *Paradigms of metallurgical innovation in prehistoric Europe.* In: Andreas Hauptmann, Ernst Pernicka, Thilo Rehren & Ünsal Yalçın (Hrsg.), *The Beginnings of Metallurgy, Proceedings of the International Conference „The Beginnings of Metallurgy“, Bochum 1995.* Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum 84 (Bochum 1999) [Der Anschnitt, Beiheft 9], 175–192.

CRAMER 1995

Clayton E. Cramer, *What Caused The Iron Age? unveröffentlichter Seminarvortrag, December 10, 1995.* (Sonoma 1995). <<http://www.claytoncramer.com/unpublished/Iron2.pdf>> (2012-11-17).

DAYTON 1971

J. E. Dayton, *The problem of tin in the Ancient World.* *World Archaeology* 3 (1971), 49–70.

DAYTON 1973

J. E. Dayton, *The problem of tin in the Ancient World: a reply to Dr Muhly and Dr Wertime.* *World Archaeology* 5 (1973), 123–125.

DAYTON 2003

John E. Dayton, *The problem of tin in the ancient world, (Part 2)*. In: Alessandra Giumlia-Mair & Fulvia Lo Schiavo (Hrsg.), *Le probleme de l'etain a l'origine de la metallurgie – The Problem of Early Tin, Acts of the XIVth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001*. BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 165–170.

DURING CASPERS 1994

Elisabeth C. L. During Caspers, *Further Evidence for 'Central Asian' Materials from the Arabian Gulf*. *Journal of the Economic and Social History of the Orient* 37 (1994), 33–53.

DURING CASPERS 1995

Elisabeth C. L. During Caspers, *Local MBAC materials in the Arabian Gulf and their manufacturers*. *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies* 26 (1995), 47–64.

HORNE 1982

Lee Horne, *Fuel For The Metal Worker, The Role of Charcoal and Charcoal Production in Ancient Metallurgy*. *Expedition* 25 (1982), i, 6–13.

KAVTARADZE 2004

Giorgi L. Kavtaradze, *The Chronology of the Caucasus during the Early Metal Age: Observations from Central Trans-Caucasus*. In: Antonio Sagona (Hrsg.), *A view from the highlands, Archaeological studies in honour of Charles Burney*. Ancient Near Eastern Studies Supplement 12 (Herent 2004), 539–556.

KIENLIN 2004

Tobias L. Kienlin, *Zur Metallographie urgeschichtlicher Artefakte: Ergebnisse einer Untersuchung an Kupfer- und Bronzebeilen des nordalpinen Raumes*. In: P. Portella (Hrsg.), *Fortschritte in der Metallographie, Vortragstexte der 37. Metallographie-Tagung, 17.–19. September 2003 in Berlin*. Sonderbände der Praktischen Metallographie 35 (Frankfurt 2004), 3–10.

KIENLIN 2005

Tobias L. Kienlin, *Frühbronzezeitliche Vollgriffdolche und Randleistenbeile, Zu Herstellungstechnik, Zusammensetzung und Materialwahrnehmung*. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 35 (2005), 175–190.

KIENLIN 2010

Tobias L. Kienlin, *Traditions and Transformations: Approaches to Eneolithic (Copper Age) and Bronze Age Metalworking and Society in Eastern Central*

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

Europe and the Carpathian Basin. BAR International Series 2184 (Oxford 2010).

KRAUSE 1998

Rüdiger Krause, *Zur Entwicklung der frühbronzezeitlichen Metallurgie nördlich der Alpen*. In: Bernhard Hänsel (Hrsg.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas – Man and Environment in European Bronze Age, Abschlußtagung: Die Bronzezeit, das erste goldene Zeitalter Europas*, Berlin, 17.–19. März 1997. (Kiel 1998), 163–192.

KUPFERINSTITUT 2004A

Deutsches Kupferinstitut, *Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen)*. (Düsseldorf 2004). <http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/Infodruck%20i.%2025_12_2004.pdf> (2012-11-10).

KUPFERINSTITUT 2004B

Deutsches Kupferinstitut, *Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen)*. (Düsseldorf 2004). <http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/i15_2004.pdf> (2012-11-10).

KUPFERINSTITUT 2004C

Deutsches Kupferinstitut, *Bronze – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne*. (Düsseldorf 2004). <http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/Bronze_040122_screen.pdf> (2012-11-10).

METALLBERUFE 1981

G. Würtemberger, *Fachkunde für Metallberufe*. ⁴⁴(Wuppertal 1981).

MOSHAGE 1960

Julius Moshage, *Energie bewegt die Welt, Das große Buch der Naturkräfte*. (1960).

MUHLY 1973A

J. D. Muhly, *Tin Trade Routes of the Bronze Age*. *American Scientist* 61 (1973), 404–413.

MUHLY 1973B

J. D. Muhly & T. A. Wertime, *Evidence for the sources and use of tin during the Bronze Age of the Near East: a reply to J. E. Dayton*. *World Archaeology* 5 (1973b), 111–122.

MUHLY 1985

James D. Muhly, *Sources of Tin and the Beginnings of Bronze Metallurgy*. *American Journal of Archaeology* 89 (1985), 275–291.

PARZINGER 2001

Hermann Parzinger & Nikolaus Boroffka, *Woher stammt das Zinn der Bronzezeit in Mittelasien?* *Archäologie in Deutschland* 2001, iii, 12–17.

PERNICKA 1998

Ernst Pernicka, *Die Ausbreitung der Zinnbronze im 3. Jahrtausend*. In: Bernhard Hänsel (Hrsg.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas – Man and Environment in European Bronze Age, Abschlußtagung: Die Bronzezeit, das erste goldene Zeitalter Europas, Berlin, 17.–19. März 1997*. (Kiel 1998), 135–147.

PRIMAS 2002

M. Primas, *Early tin bronze in Central and Southern Europe*. In: Martin Bartelheim, Ernst Pernicka & Rüdiger Krause (Hrsg.), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt, Euroseminar Freiberg/Sachsen, November 1990*. *Forschungen zur Archäometrie* 1 (Rahden/Westf. 2002), 303–314.

Пугаченкова 1965

Г. А. Пугаченкова & Л. И. Ремпель, *История искусств Узбекистана, С древнейших времен до середины девятнадцатого века*. (Москва 1965).

ROVIRA 2002

Salvador Rovira, *Early slags and smelting by-products of copper metallurgy in Spain*. In: Martin Bartelheim, Ernst Pernicka & Rüdiger Krause (Hrsg.), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt, Euroseminar Freiberg/Sachsen, November 1990*. *Forschungen zur Archäometrie* 1 (Rahden/Westf. 2002), 83–98.

ROVIRA 2003

Salvador Rovira & Ignacio Montero, *Natural Tin-Bronze Alloy in Iberian Peninsula Metallurgy: Potentiality and reality*. In: Alessandra Giumlia-Mair & Fulvia Lo Schiavo (Hrsg.), *Le probleme de l'etain a l'origine de la metallurgie – The Problem of Early Tin, Acts of the XLVth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001*. BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 15–22.

RUZANOV 1999

Vladimir Ruzanov, *Zum frühen Auftreten der Zinnbronze in Mittelasien*. In:

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

Andreas Hauptmann, Ernst Pernicka, Thilo Rehren & Unsal Yalgin (Hrsg.), *The Beginnings of Metallurgy, Proceedings of the International Conference „The Beginnings of Metallurgy“, Bochum 1995*. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum 84 (Bochum 1999) [Der Anschnitt, Beiheft 9], 103–105.

SHALEV 1999

Sariel Shalev, *Recasting the Nahal Mishmar Hoard: Experimental archaeology and metallurgy*. In: Andreas Hauptmann, Ernst Pernicka, Thilo Rehren & Unsal Yalgin (Hrsg.), *The Beginnings of Metallurgy, Proceedings of the International Conference „The Beginnings of Metallurgy“, Bochum 1995*. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum 84 (Bochum 1999) [Der Anschnitt, Beiheft 9], 295–300.

SIMON 1993

Klaus Simon, *Zum ältesten Erzbergbau in Ostthüringen und Sachsen, Argumente und Hypothesen*. In: Heiko Steuer & Ulrich Zimmermann (Hrsg.), *Montanarchäologie in Europa, Int. Koll. „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“ in Freiburg i. Br. vom 4. bis 7. Oktober 1990*. Archäologie und Geschichte 4 (Sigmaringen 1993), 89–104.

SPINDLER 1971

Konrad Spindler, *Zur Herstellung der Zinnbronze in der frühen Metallurgie Europas*. *Acta Praehistorica et Archaeologica* 2 (1971), 199–253.

TYLECOTE 1991

R. F. Tylecote, *Early copper base alloys; natural or man-made*. In: Jean-Pierre Mohen & Christiane Éluère (Hrsg.), *Découverte du métal*. Millénaires 2 (Paris 1991), 213–221.

WAINWRIGHT 1943

G. A. Wainwright, *Egyptian bronze-making*. *Antiquity* 17 (1943), 96–98.

WEISGERBER 1991

Gerd Weisgerber, *Die Suche nach dem altsumerischen Kupferland Makan*. *Das Altertum* 37 (1991), 76–90.

YALÇIN 2005

Ünsal Yalçın, *Das Schiff von Uluburun, Welthandel vor 3000 Jahren, Führer durch die Ausstellung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum vom 16. Oktober 2005 bis 16. Juli 2006*. (Bochum 2005).

ZWICKER 1991

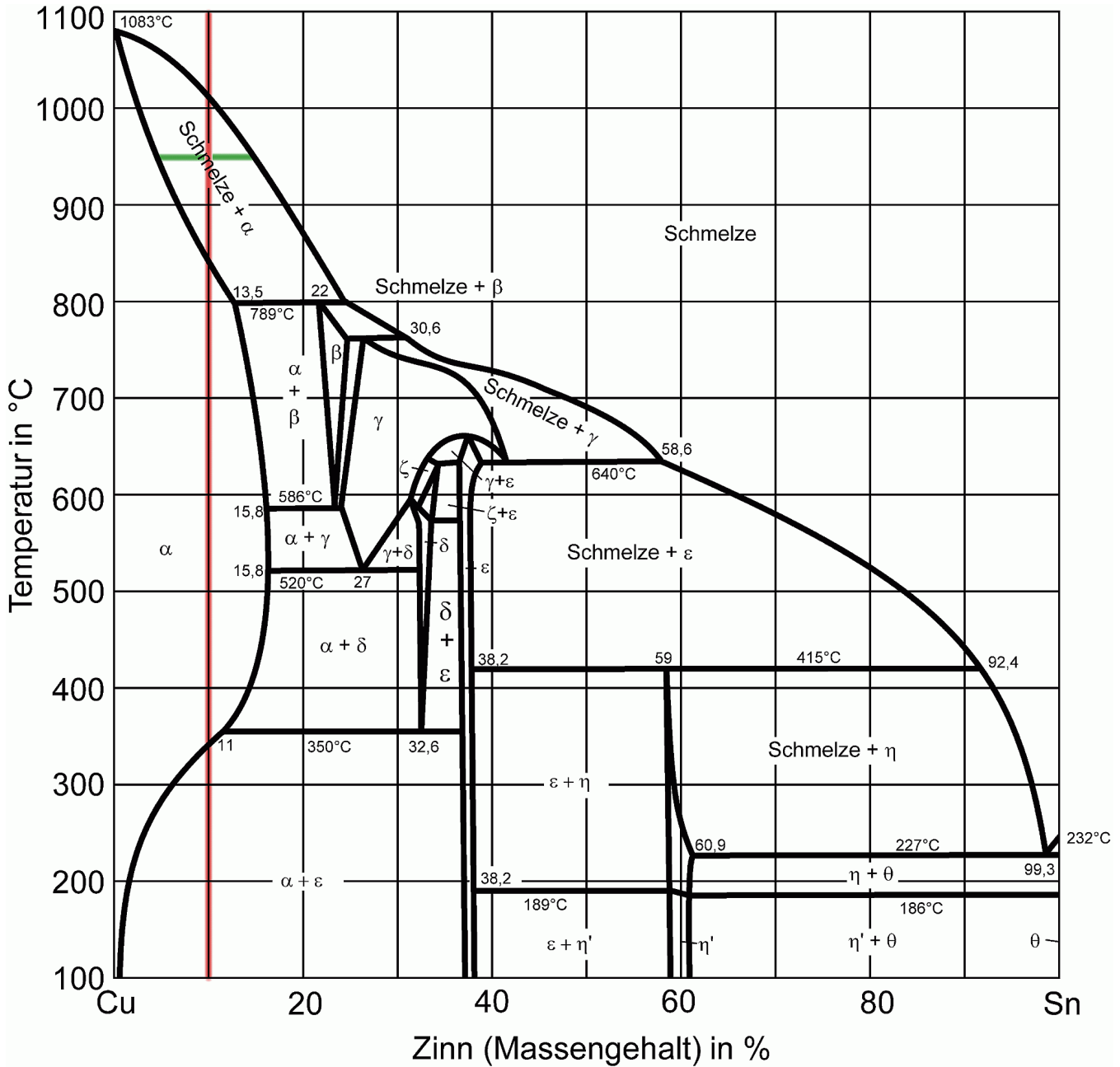
U. Zwicker, *Natural copper-arsenic alloy and smelted arsenic bronzes in early metal production*. In: Jean-Pierre Mohen & Christiane Éluère (Hrsg.), *Découverte du métal*. Millénaires 2 (Paris 1991), 331–340.

A Tafeln



Tafel 1: Eine Auswahl der Objekte des Metropolitan Museum of Art aus dem Hortfund von Nahal Mishmar (Shalev 1999, 358).

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



Tafel 2: Phasendiagramm der Zinnbronze. Von praktischer Bedeutung sind vor allem die Bereiche mit weniger als 20% Zinngehalt und in der Nähe der Schmelz- und Erstarrungstemperatur. Hervorgehoben sind der typische 10%-ige Zinngehalt und die 950°C-Isotherme im Schmelzintervall ([Kupferinstitut 2004a](#)).



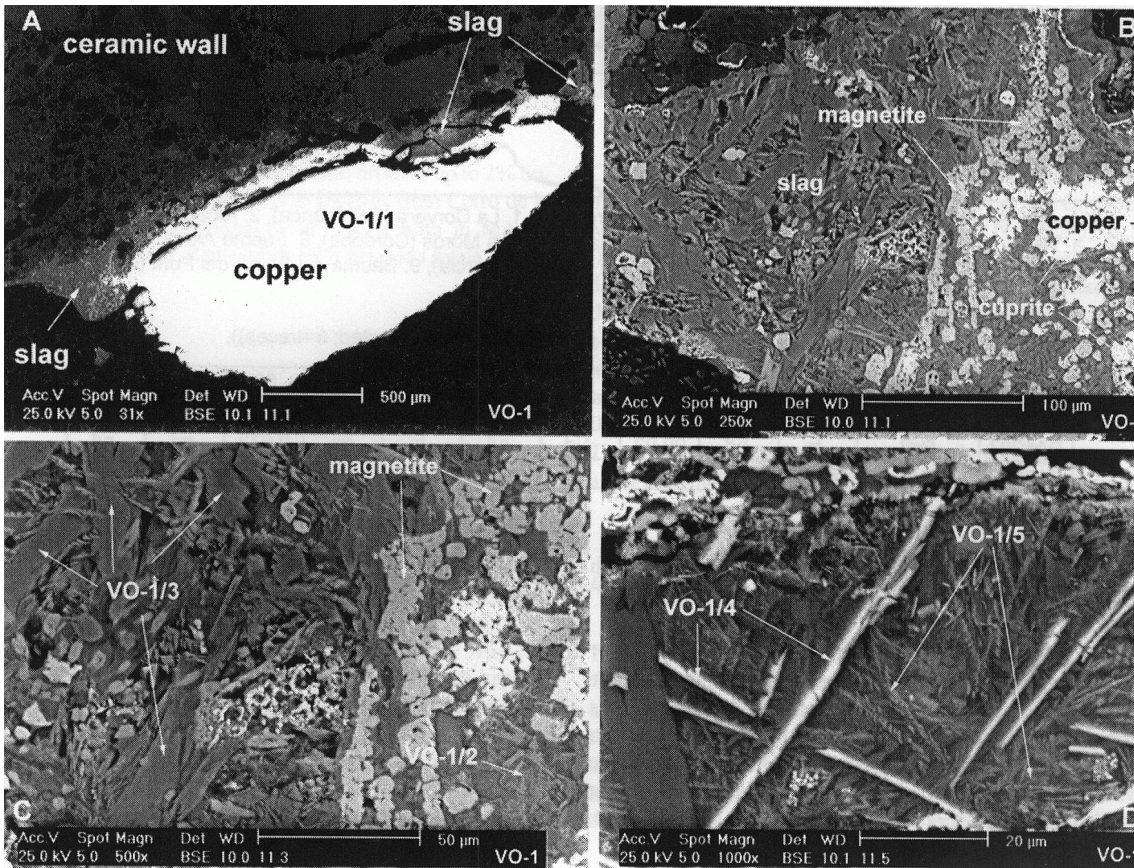
Tafel 3: Der Erzberg in Eisenerz, Steiermark. Quelle: Gerald Senarclens de Grancy, Wikicommons¹⁶.

¹⁶ <<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erzberg3.jpg>> (2012-12-01)

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



Tafel 4: Rekonstruktion eines offenen Schmelz- und Reduziertiegels aus La Ceñuela, Murcia, zur gleichzeitigen Röstung und Reduktion sulphidischer Kupfererze (Rovira 2002, 89).



Tafel 5: Mikrosondenanalyse der verschlackten Oberfläche des Reduktionstiegels aus Villaviciosa de Odón unter dem Rasterelektronenmikroskop (Rovira 2003, 20).

ANALYSI	PHASE	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	CuO	As ₂ O ₃	SnO ₂
VO-1/2	Glassy matrix	0	5.11	16.9	1.3	20.7	17.3	11.3	10.6	2.2
VO-1/3	Pyroxene laths	3.6	4.4	32.7	0.1	25.5	24.3	1.5	2.7	3.6
VO-1/4	Delafossite needle	0	0	24.2	0	7.5	25.3	37.9	4.7	0
VO-1/5	Glassy matrix	3	4.6	37.2	1.8	18.7	8.7	12.8	10.6	1.3
VO-1/6	Ceramic (bulk)	1.1	16.1	64.1	4.8	5.3	7.2	0	0	0

Tabelle 3: Ergebnisse der Mikrosondenanalyse der anhaftenden Schlacken in Massenprozent (Rovira 2003, 20).

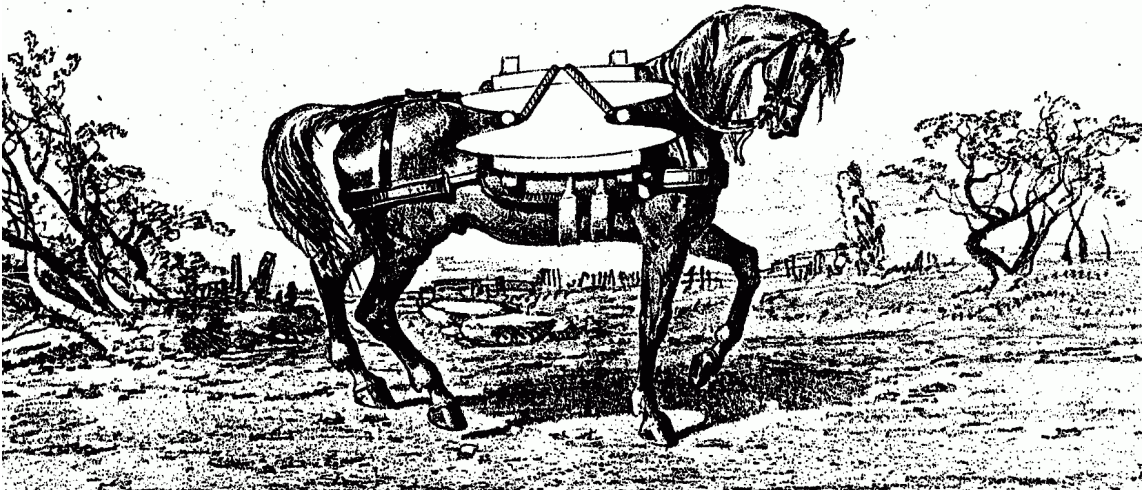
ANALYSIS	PHASE	Cu	Sn	As	Fe
VO-1/1	Metal prill	95.58	0.35	4.07	0

Tabelle 4: Analyseergebnis des Kupfertropfens in Massenprozent (Rovira 2003, 20).

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

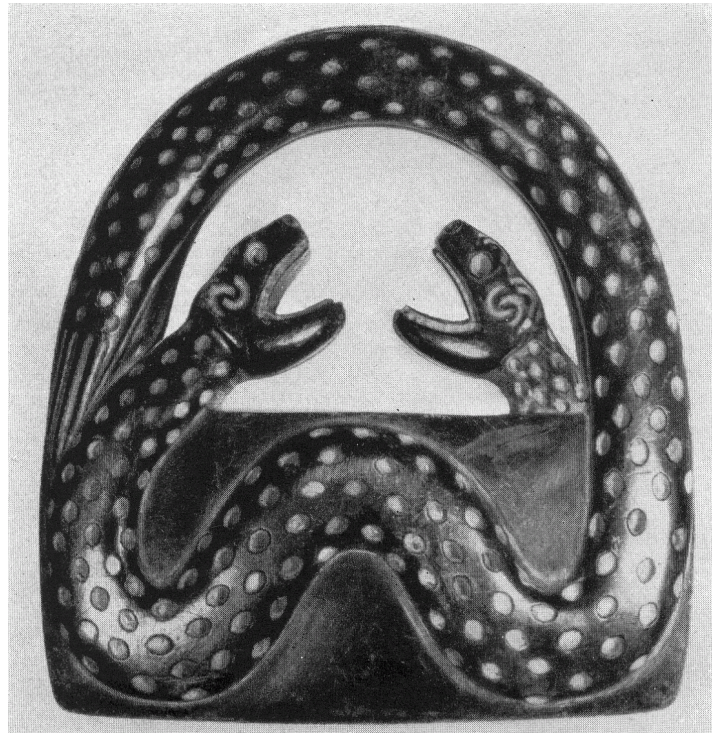


(a) Ein Getreide- und Petroleumtransport per Eselskarawane bei Zarschuran im Iran 1978 (Cierny 2005, 433)



(b) Künstlerische Darstellung des Zinntransports nach dem Fund antiker Barren am Grund des Hafens von Falmouth, Cornwall, 1863 (Muhly 1985, 289)

Tafel 6: Karawanentransport für Zinn und andere Rohstoffe (Cierny 2005).



Tafel 7: Das elamitische Steinobjekt mit Schlangendekor aus Soch, Fergana (Пугаченкова 1965, 423).

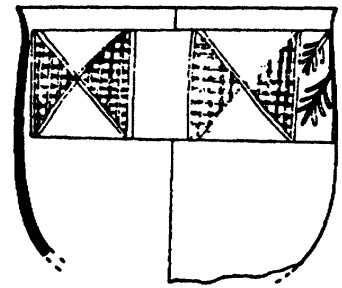


Tafel 8: Dekor einer elamitischen Steatitvase zum Vergleich (Brentjes 1971).

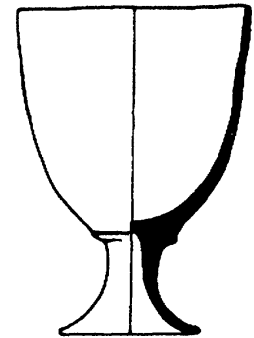
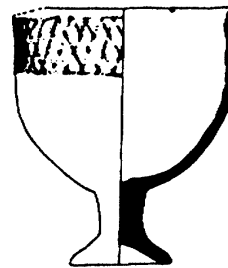
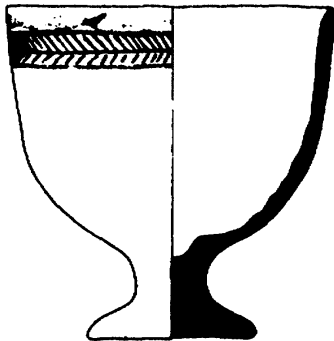
Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Tumulusfeld 'Ali, Zentralbahrain

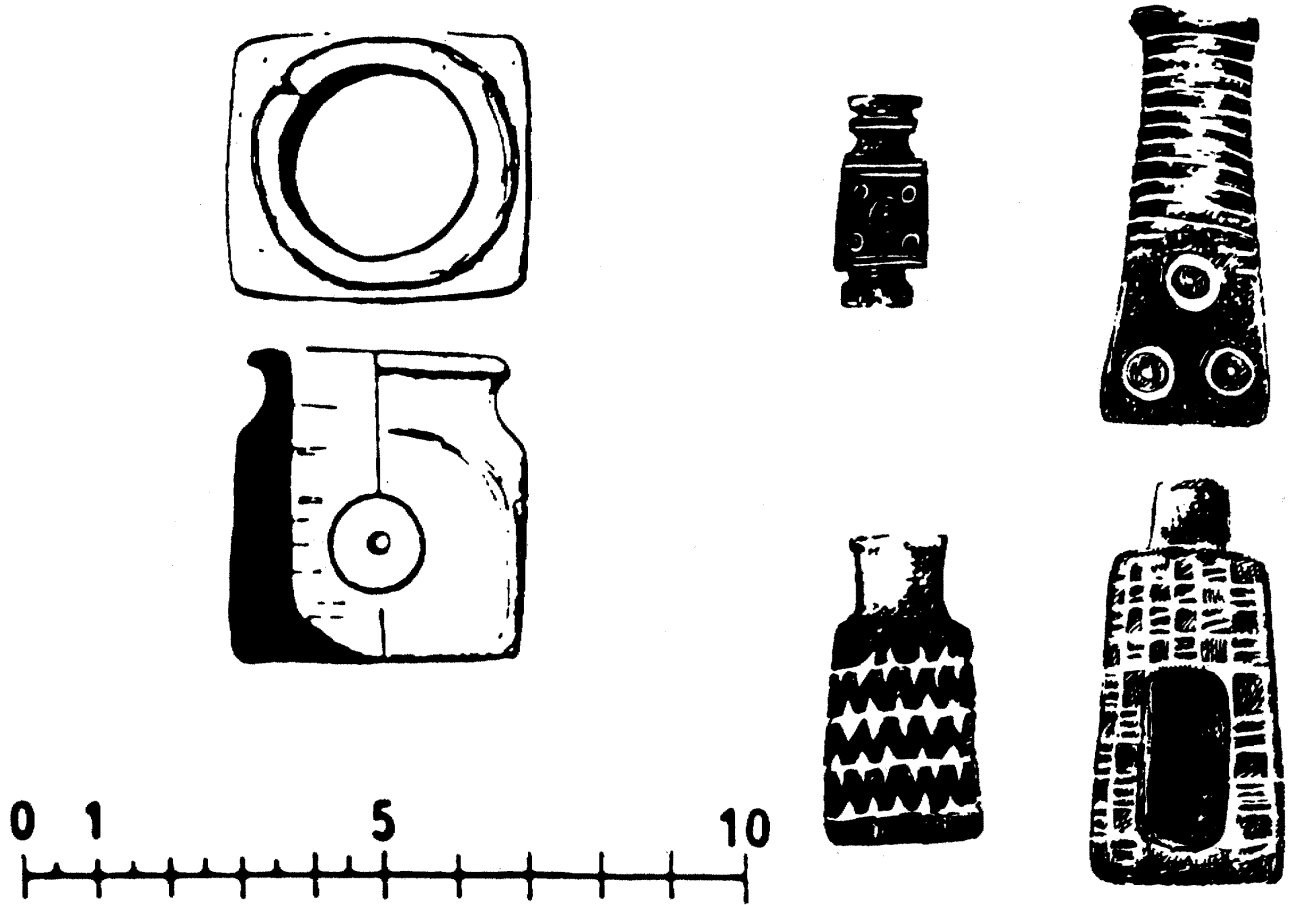


(b) Hamala North, Nordwestbahrain



(c) Sār el-Jisr, Zentralbahrain

Tafel 9: Keramikkelche in der charakteristischen Form für den Baktrien-Margiana-Komplex (BMAC, Oasenkultur) mit dem typischen Absatz am Kopf des Schaftes. Die verzierten Exemplare sind lokale Nachahmungen, die beiden unverzierten, (a) mitte und (c) rechts, hält During Caspers für Importe (During Caspers 1994, During Caspers 1995, 49).

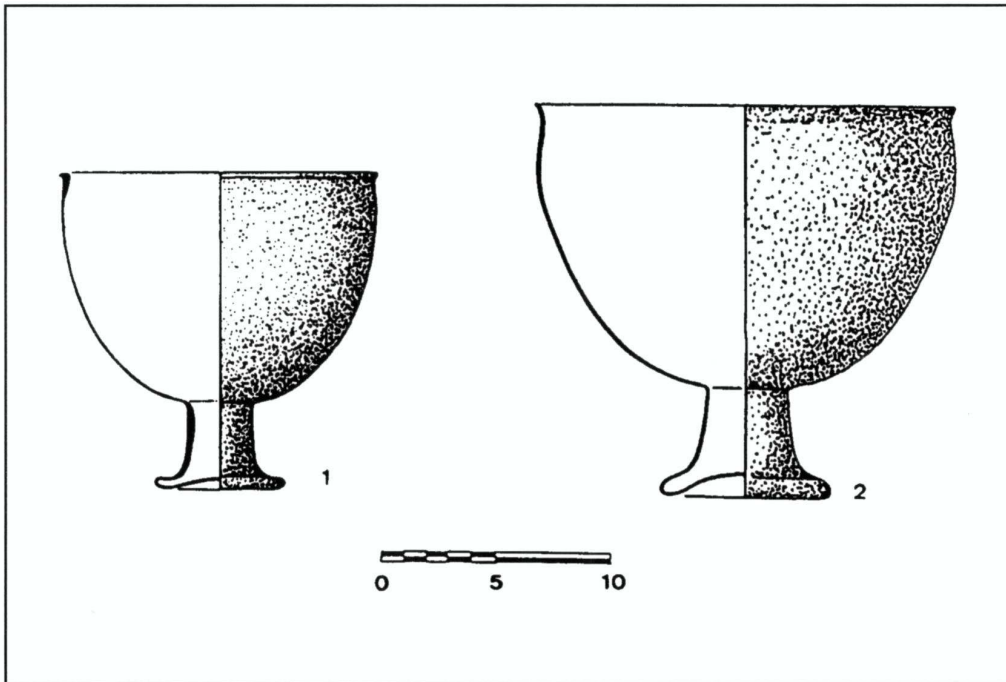


(a) Chloritgefäß, Grab A, Hili North, Abu Dhabi

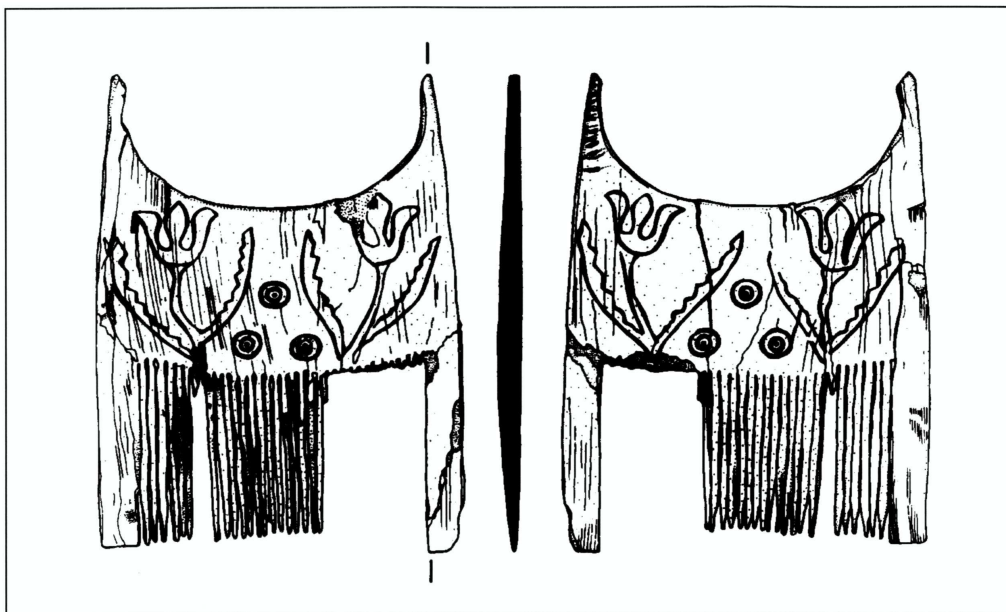
(b) Chloritgefäße aus Baktrien zum Vergleich

Tafel 10: Kosmetikflasche aus Chlorit als Import aus Baktrien (During Caspers 1994).

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

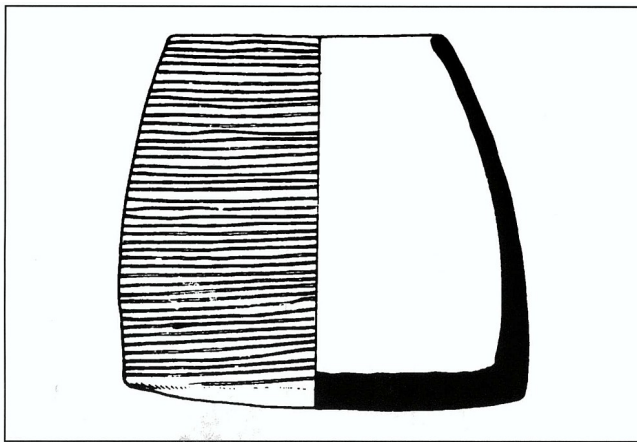


(a) Bronzekerle; links; Reihe A, Grab A2, Asimah, Ras al Khaimah, UAE, rechts: Hamala North, Bahrain

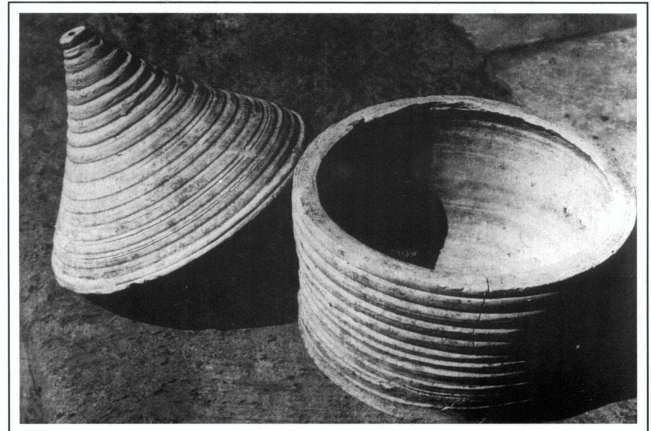


(b) Elfenbeinkamm, Tell Abraq, Umm al-Qaiwain, UAE

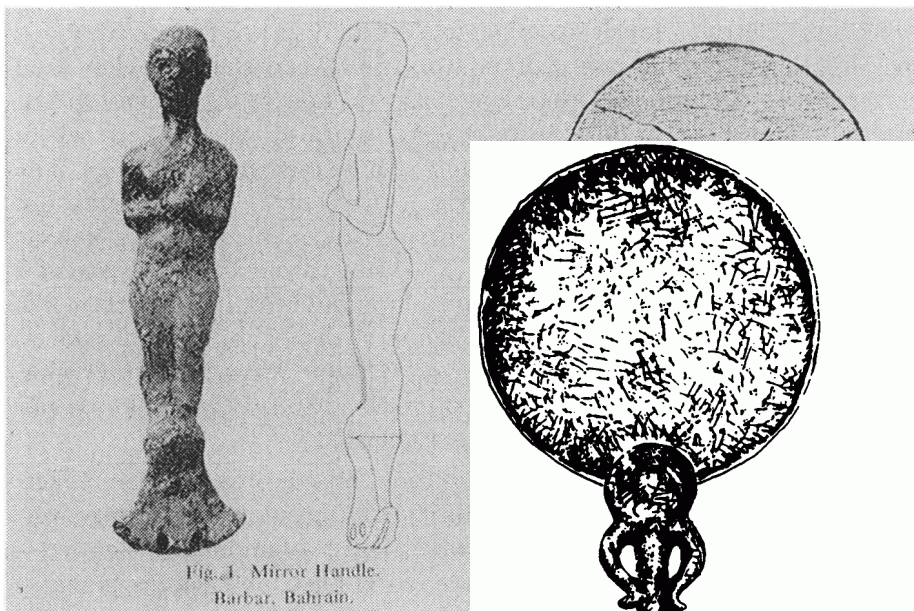
Tafel II: Funde der Oasenkultur (BMAC) auf der Arabischen Halbinsel (During Caspers 1994).



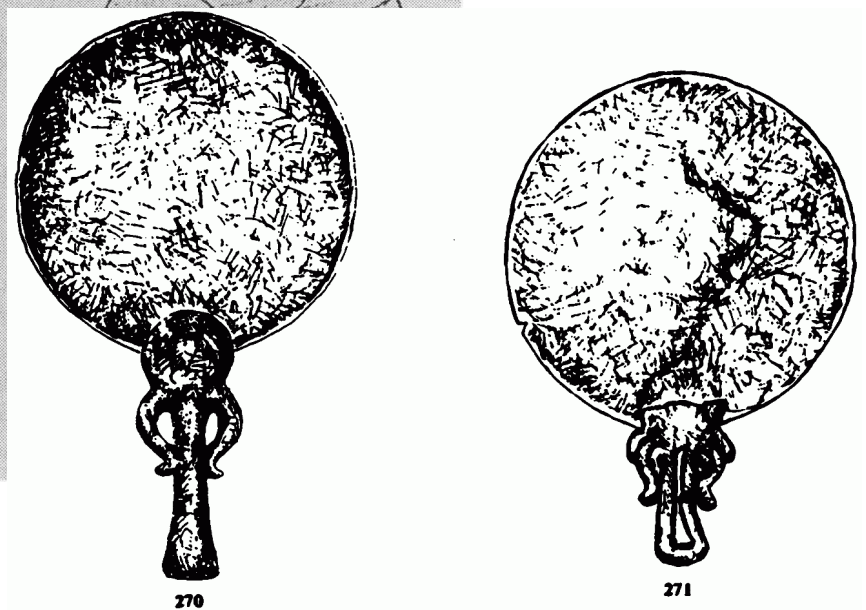
(a) Chloritgefäß in Yurtenform mit horizontaler Ritzung, Sār el-Jisr, Bahrain



(b) Keramikgefäß in Yurtenform aus Baktrien mit in den noch feuchten Ton eingebrachten horizontalen Ritzungen



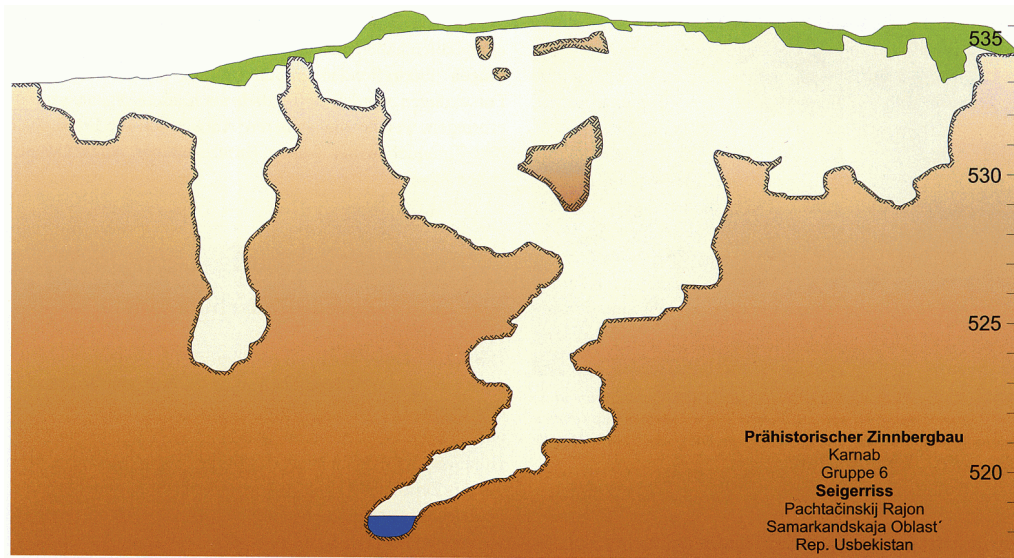
(c) Spiegelhandgriff aus Bahrain



(d) Baktrische Handspiegel

Tafel 12: Nachahmungen typischer Objekte der Oasenkultur (BMAC) auf der Arabischen Halbinsel (During Caspers 1995).

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Seigerriß der Grube Karnab 6/1



(b) Der 30 m lange Erzgang



(c) Erzgang im Sicherheitspfeiler

Tafel 13: Die Grube 6/1 in Karnab. Bei 30 m Länge und bis zu 17 m Tiefe lieferte sie rund 1 t Zinn aus 730 t abgebautem Gestein (Cierny 2005, 436–7).



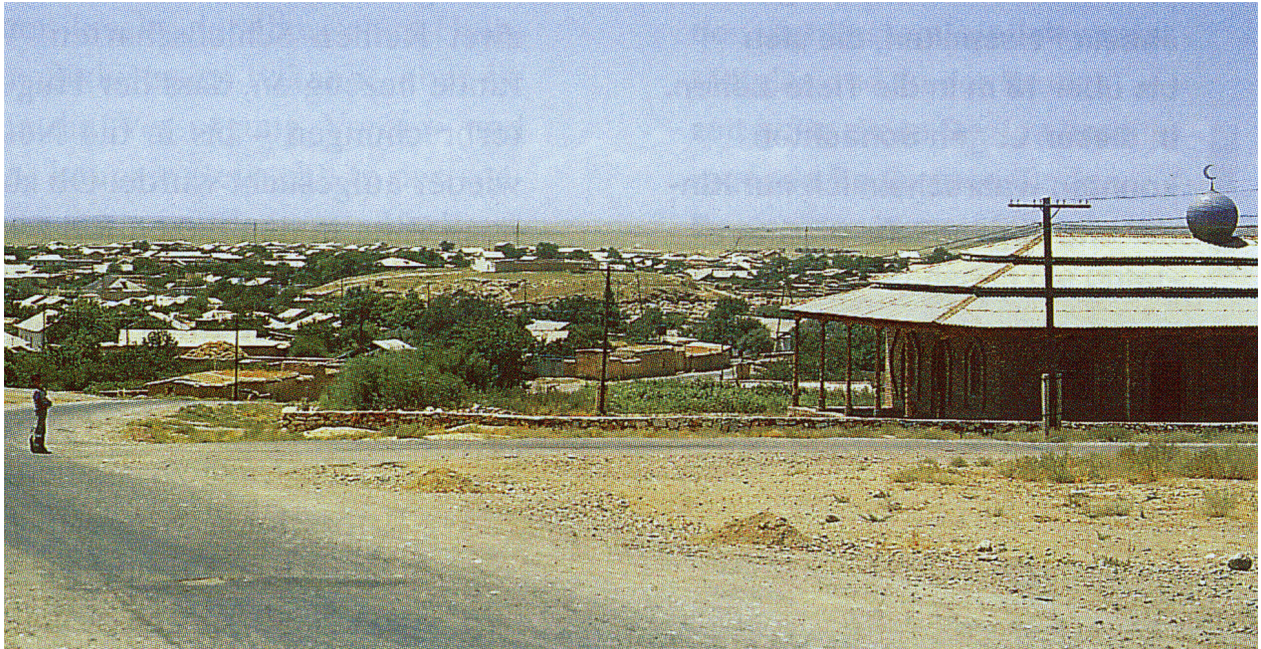
(a) Wermutsteppe in der Umgebung von Karnab (Parzinger 2001, 14)



(b) Blick zurück ins Seitental des Zeravshan beim Aufstieg zu den Gruben von Mushiston (Cierny 2005, 438)

Tafel 14: Die baumarme Landschaft des Zeravshantals in Zentralasien.

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Der Tell im Zentrum von Karnab



(b) Die Befestigung aus dem 1.-4. Jh. CE

Tafel 15: Der Tell im Zentrum von Karnab und die kushanzeitliche Befestigungsanlage (Parzinger 2001, 14).

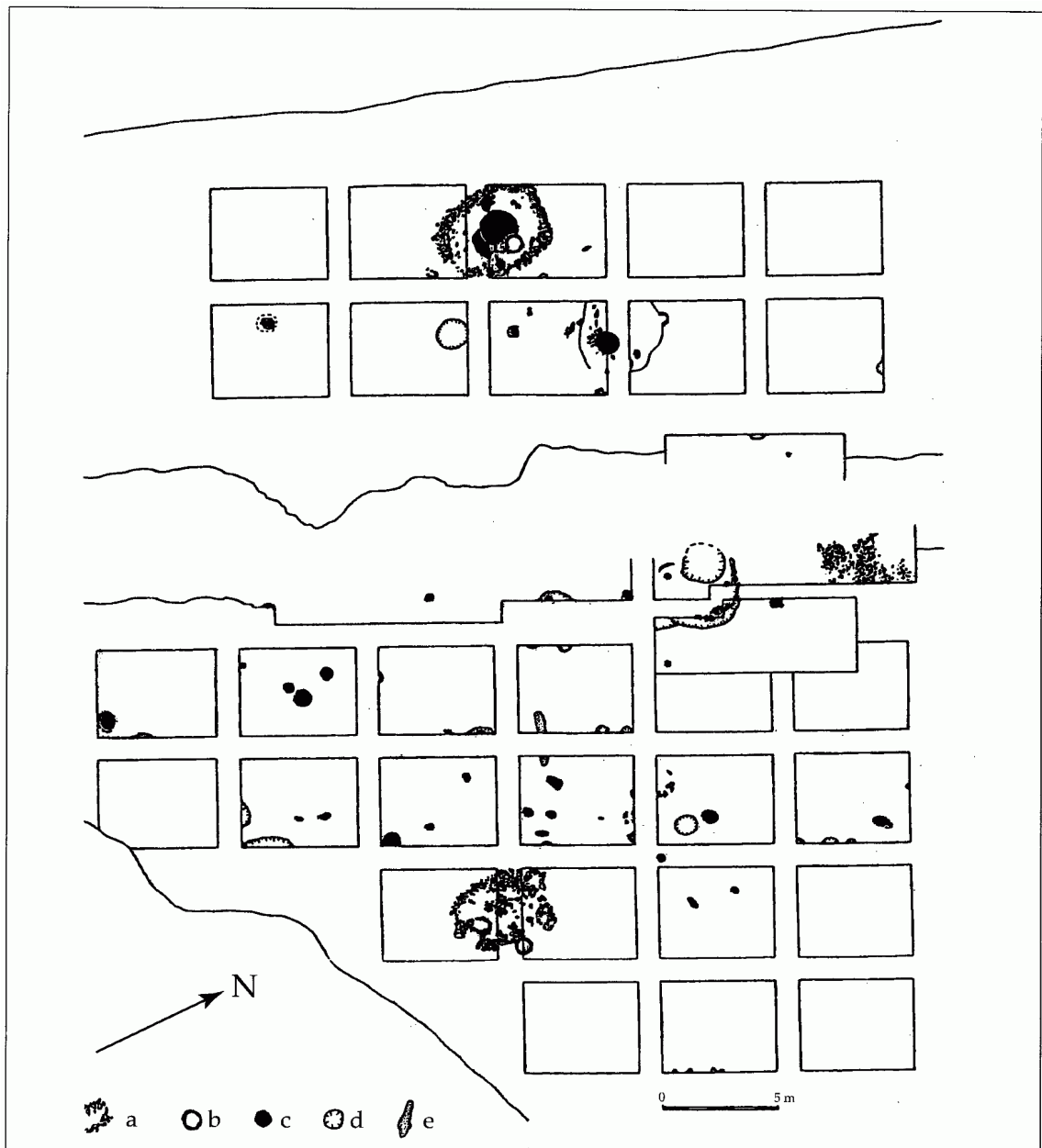


(a) Ansicht aus nördlicher Richtung



(b) Das Grubenhaus am Westrand

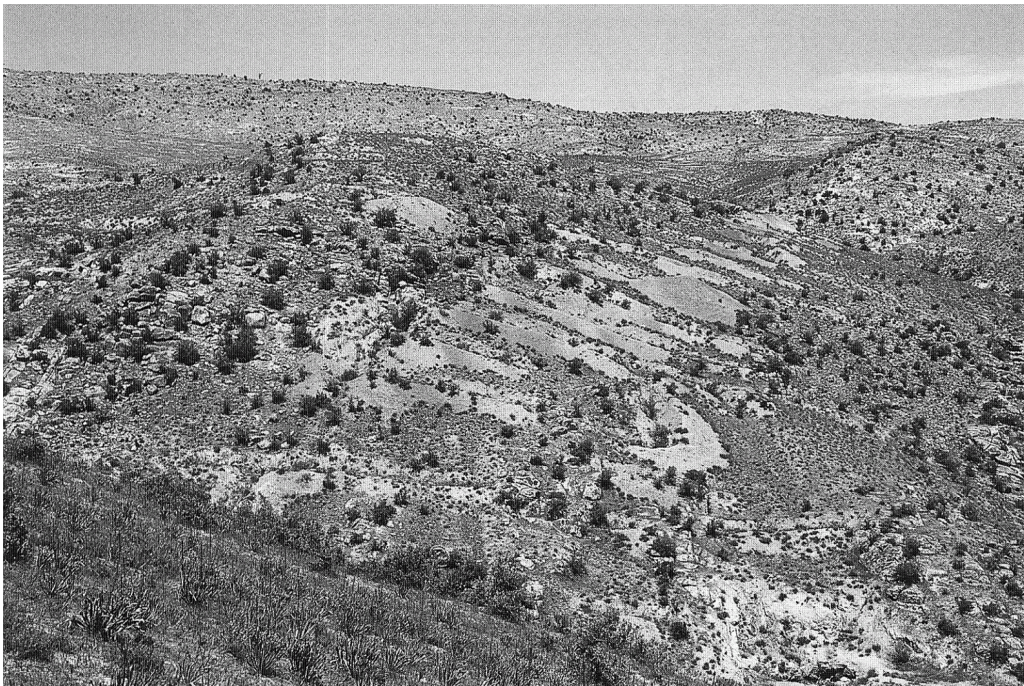
Tafel 16: Die bronzezeitliche Bergarbeitersiedlung Sichkonchi (Parzinger 2001, 14–5).



Tafel 17: Grabungsplan der Siedlung am Sichkonchi (Boroffka 2002, 148).



(a) Blick über das Revier von Lapas (Alimov 1998, 182)



(b) Der steile Hang der Lagerstätte Changali (Alimov 1998, 179)

Tafel 18: Die Reviere von Lapas und Changali.

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Die Lagerstätte liegt oberhalb der Baumgrenze und dem sowjetischen Geologenlager (Alimov 1998, 160)

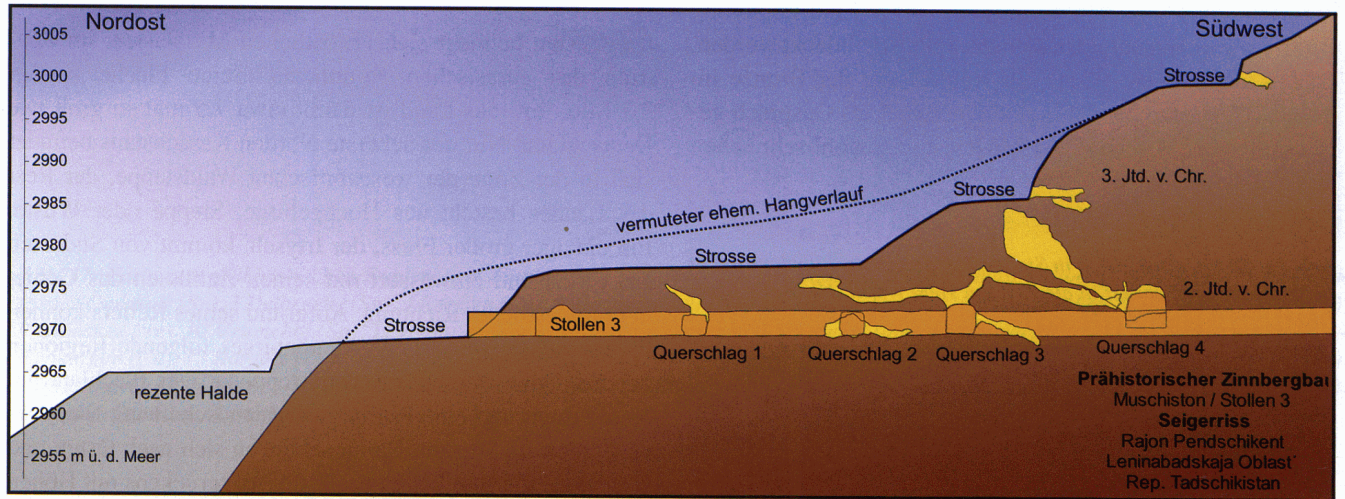


(b) Die alten Stollen liegen oberhalb der rezenten Halde (Parzinger 2001, 13)

Tafel 19: Die Lagerstätte am Berg Mushiston von Osten. Die rezente Schutthalde stammt vom inzwischen unrentabel gewordenen Abbau aus sowjetischer Zeit.



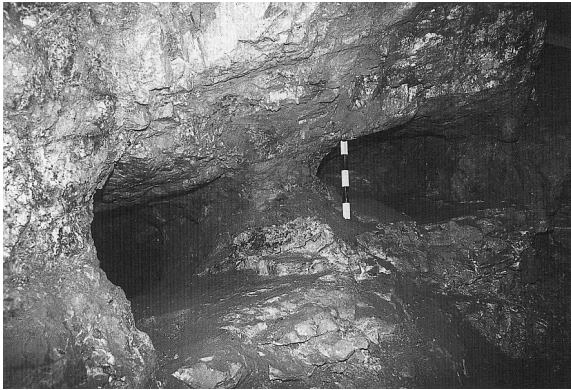
(a) Blick von Norden



(b) Seigerriss mit rezentem Stollen und bronzezeitlichen Abbauen

Tafel 20: Die Lagerstätte am Berg Mushiston von Norden und im Schnitt
(Cierny 2005, 439).

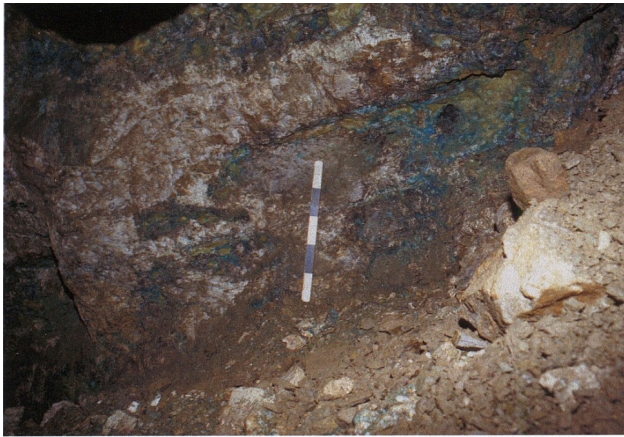
Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



(a) Zwei Abbauörter im Querschlag 3 des rezenten Stollens 3 (Alimov 1998, 187)



(b) Von rezenter Zuwegung angeschnittene alte Stolleneingänge (Cierny 2003, 29)



(c) Grüne Kupfer- und gelbgrüne Zinnerze im hellen Quarz (Cierny 2005, 440)



(d) Andronovo-Scherbe aus Stollen 3, Querschlag 3 (Alimov 1998, 188)

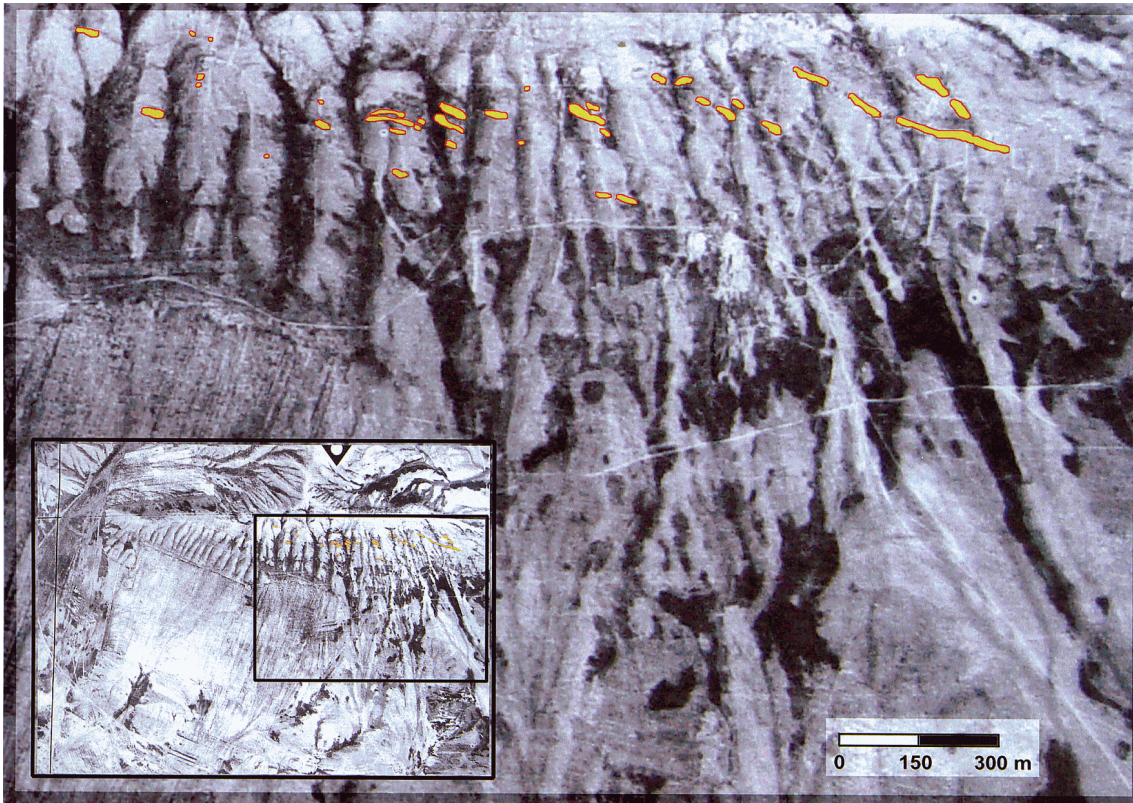


(e) Holz, datiert auf 1 515–1 265 cal BC (Alimov 1998, 185)

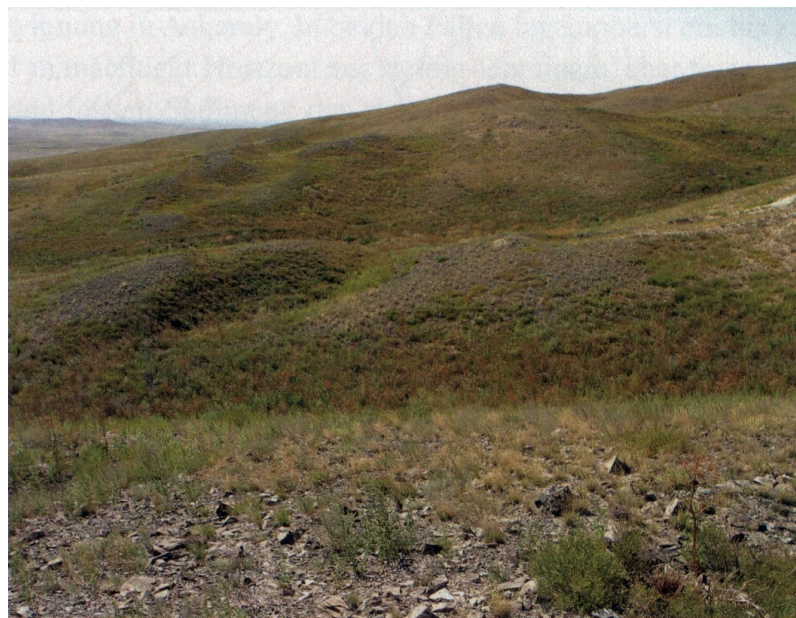


(f) Noch aufrecht stehender Stempel, datiert auf 1 645–1 250 cal BC (Cierny 2005, 440)

Tafel 21: Befunde und Gänge in Mushiston.



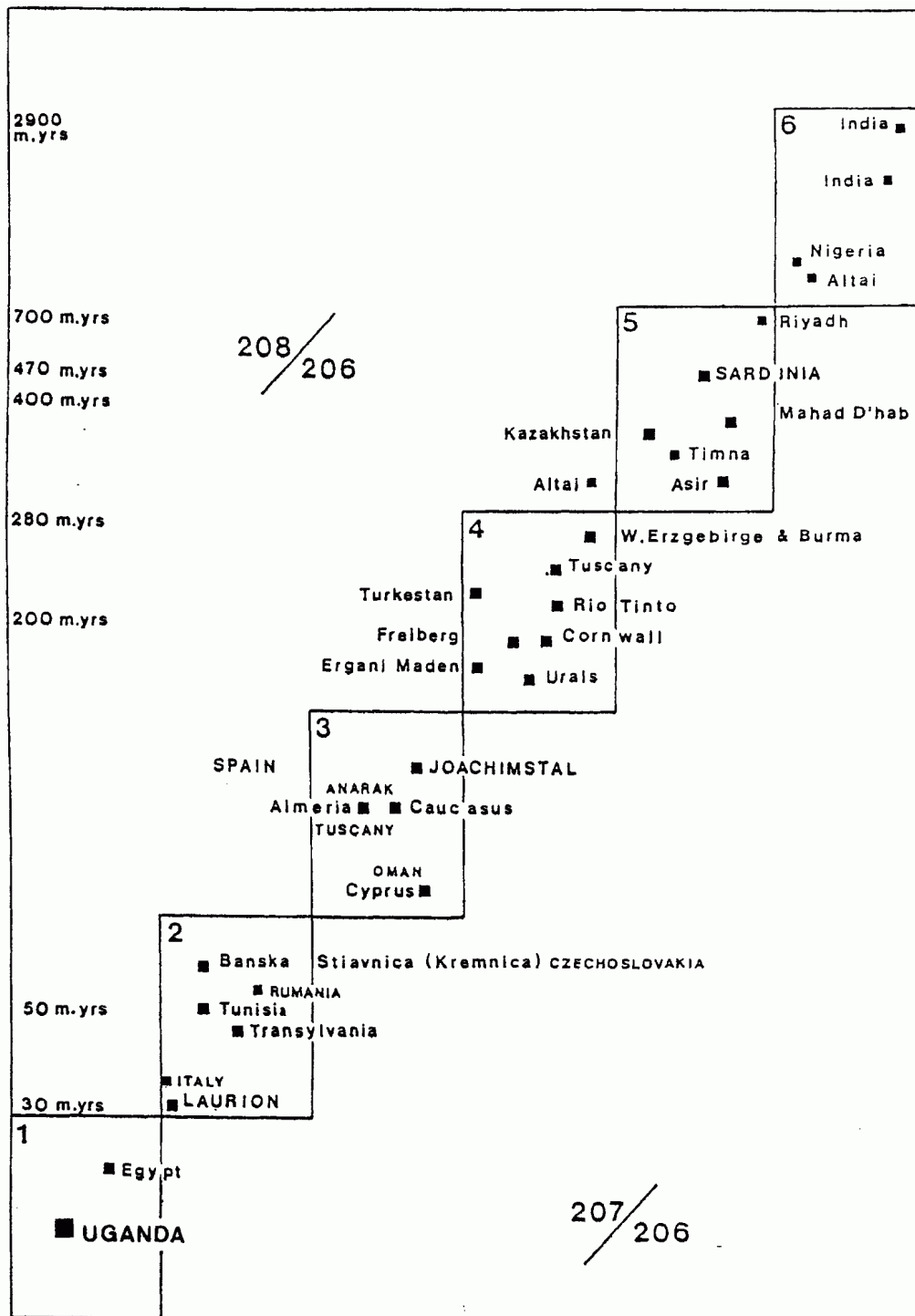
(a) Nordwestliches Delbegtej-Granitmassiv mit Pingenzügen der Fundstelle von Askaraly 1



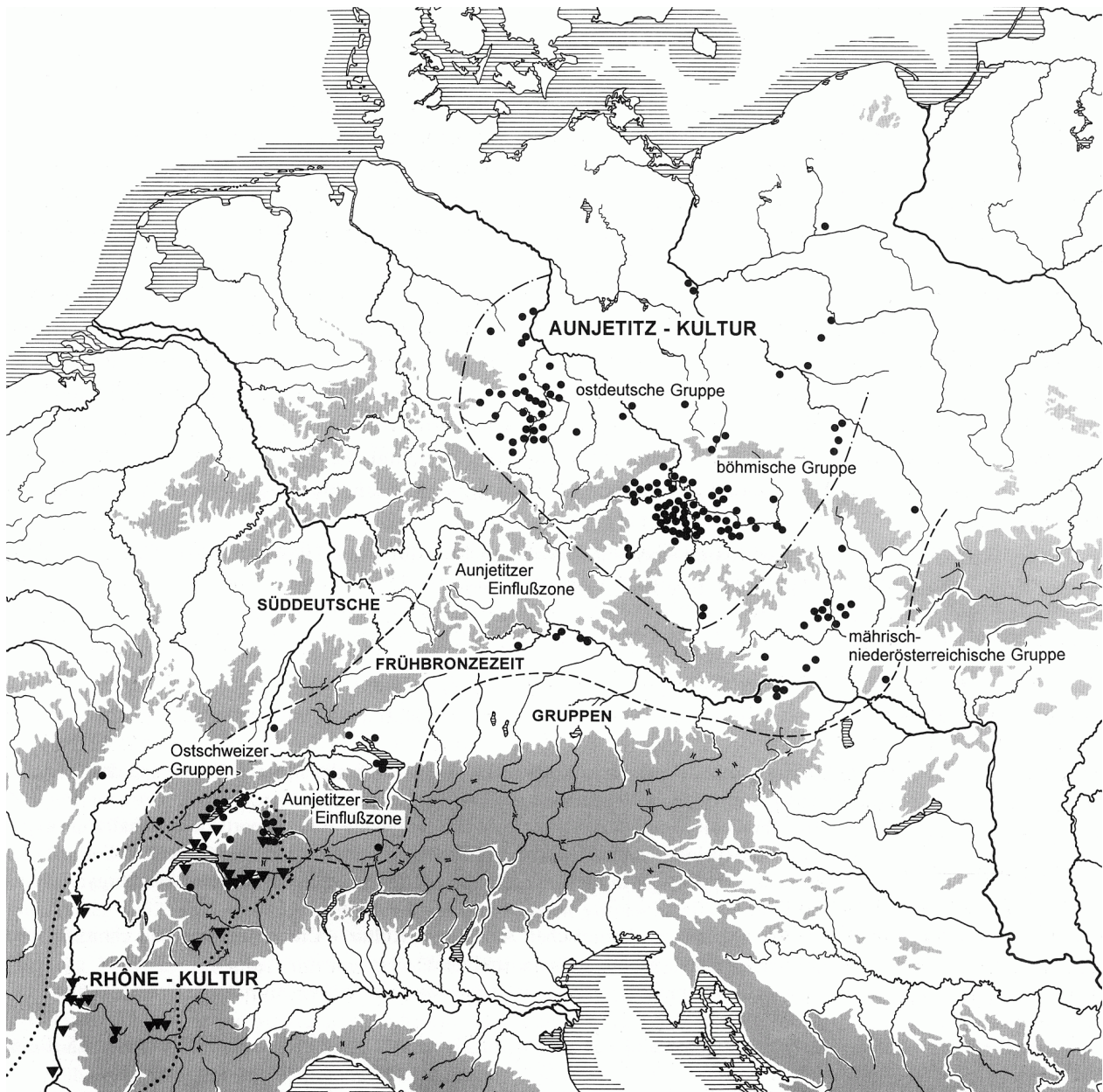
(b) Ausgedehnte Pingenzüge bei Askaraly 1

Tafel 22: Die Fundstelle Askaraly im nordwestlichen Ausläufer des Delbegtej-Granitmassivs (Cierny 2005, 442–3).

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie

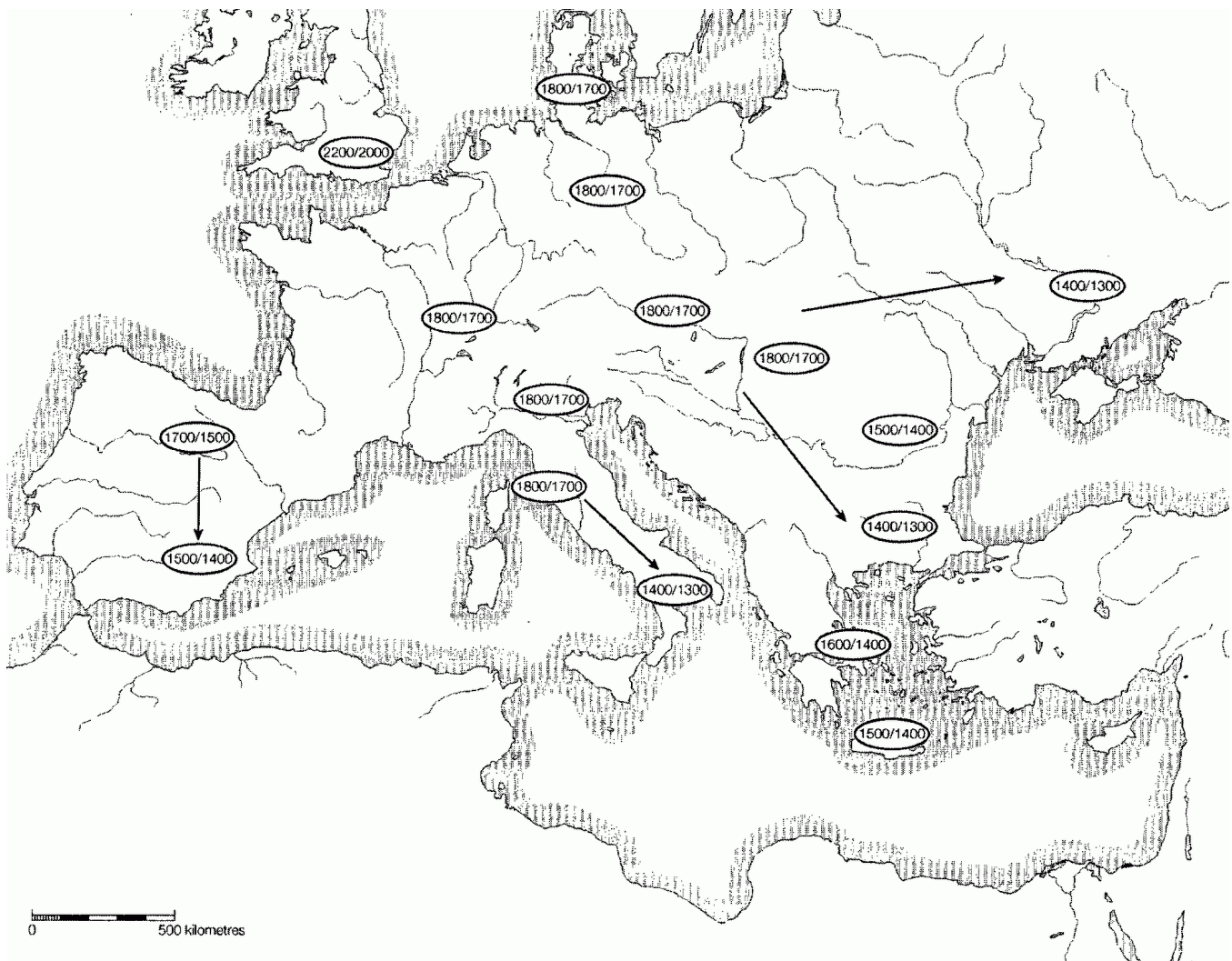


Tafel 23: Zinnquellen der Welt und ihre vom Gesteinsalter abhängigen Bleisotopwerte (Dayton 2003).

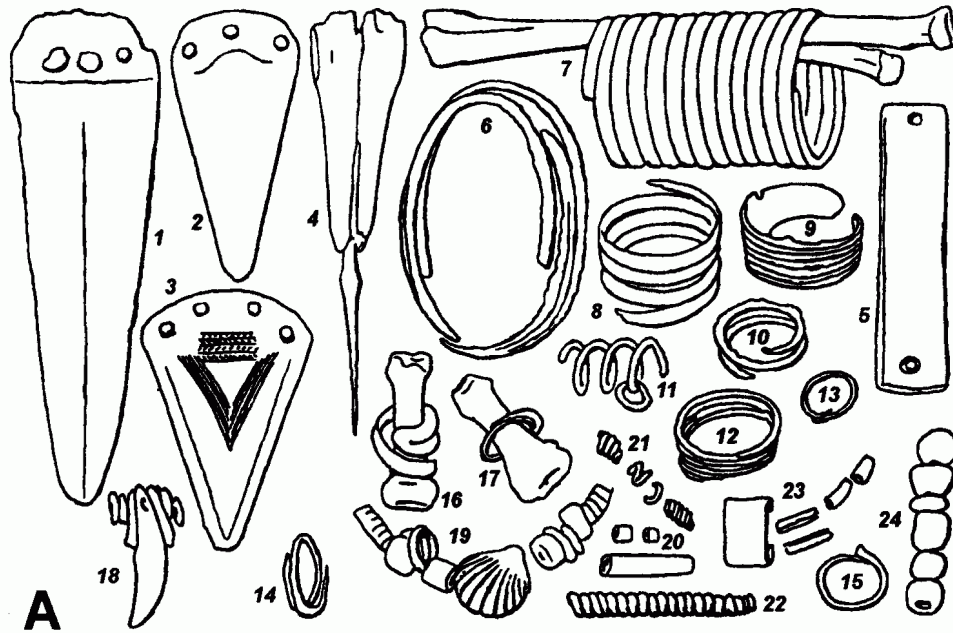


Tafel 24: Die Aunjetitzer Gruppen im Nordosten und die Rhône-Kultur im Südwesten Mitteleuropas. Dazwischen im Bereich der süddeutschen und der donauländischen Frühbronzezeitgruppen die Aunjetitzer Einflußzone im Nordalpenraum (Krause 1998, 189).

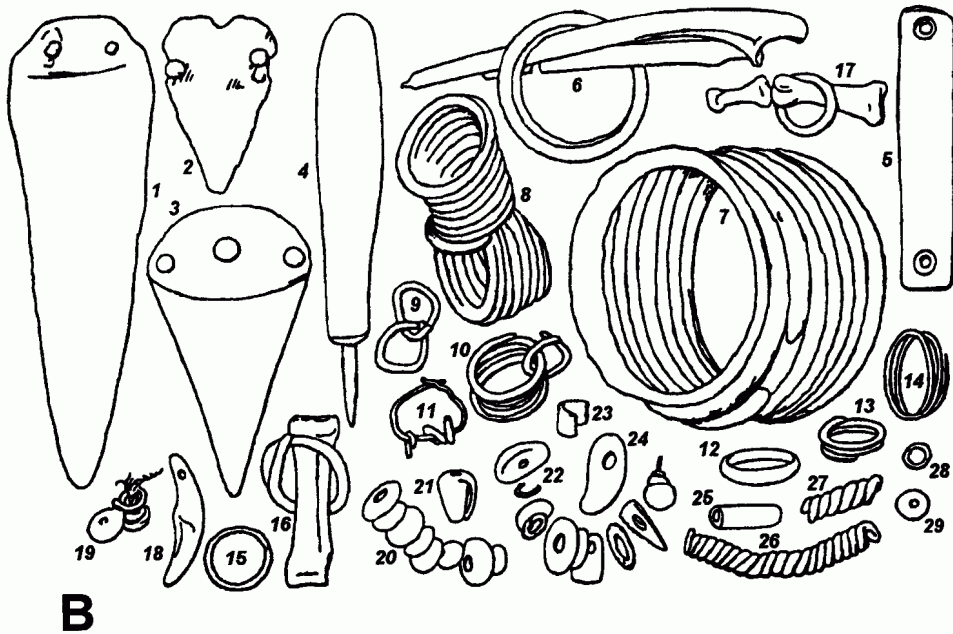
Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



Tafel 25: Die ungefähren Daten für den Übergang zur Zinnbronze in Europa (Kienlin 2010, 131).



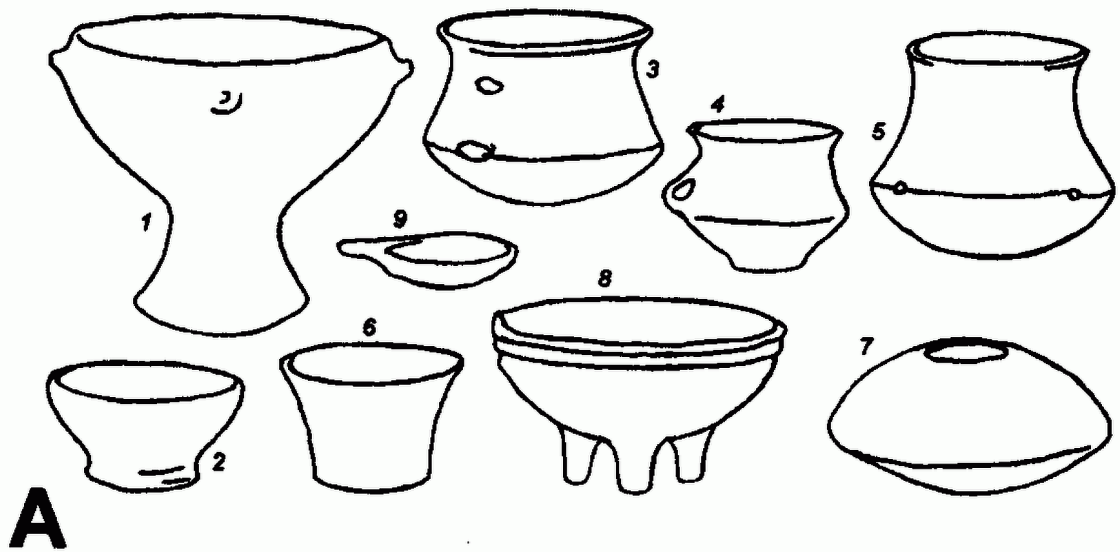
(a) aus Böhmen



(b) aus Spanien

Tafel 26: Metallfunde der frühen Bronzezeit aus Böhmen und aus Spanien nach Siret (Bartelheim 1997, 277).

Die Entwicklung der Bronzemetallurgie



A
(a) aus Böhmen



B
(b) aus Spanien

Tafel 27: Keramik der frühen Bronzezeit aus Böhmen und aus Spanien nach Siret
([Bartelheim 1997](#), 278).