

URARTÄISCHE ACHSNÄGEL, URARTÄISCHE KUPFERLEGIERUNGEN

ZUR ANALYTIK KORRODIERTER »BRONZEN«

Das Römisch-Germanische Zentralmuseum (RGZM) besitzt zwei sogenannte Tempelschätze mit den Fundortangaben »Osttürkei« bzw. »Urartu«. Die insgesamt 912 Objekte (vor der Restaurierung) bestehen fast durchweg aus »Bronze«¹ und werden unter den Inventarnummern O.39778 und O.39822 verwahrt. Eine Zuordnung zum urartäischen Bestand ist ohne jeden Zweifel möglich: So sind u. a. bronzene Spitzhelme mit hörnerartigen Zeichen über der Stirn enthalten. Diese, wie viele andere Gegenstände eindeutiger Form, sind auch durch das mehrmalige Auffinden der Königsinschriften »Išpuini« (ca. 825-810 v. Chr.) und »Menua« (ca. 810-785/780 v. Chr.) auf den Objekten dieses Fundbestandes zeitlich exakt festgelegt (Egg/Pare 1995). Von einem ähnlich zusammengesetzten Formenrepertoire wird in der von Sargon II. bekannten Beuteliste von Muşaşir/Ardini (im heutigen Iran) berichtet, die allerdings etwa 100 Jahre nach Išpuini/Menua zusammengestellt wurde (Mayer 1983).

Schon bei der Jahre andauernden Restaurierung im RGZM gab es Hinweise auf Zinkanteile im Metall, als man Übersichtsanalysen anfertigte, die jeweils eine eventuelle Zusammengehörigkeit von Bruchstücken belegen sollten. Auch eine teilweise vom Üblichen abweichende Patinierung ließ die Vermutung aufkommen, dass metallurgische Untersuchungen neue Erkenntnisse zur Entwicklung der Kupferlegierungen im Nahen Osten erbringen könnten.

Die große Bedeutung des urartäischen Reiches für die Vorgeschichte Anatoliens, des Transkaukasus, des westlichen Iran und des nördlichen Irak sowie für die Entwicklungen der Siedlungsstruktur, der Landwirtschaft, aber auch des Keramik- und Metallhandwerks jener Zeit (Kroll 1976; Merhav 1991a; Merhav 1991b; Belli 2001; Seidl 2004; Salvini 1991; Wartke 1993) sollte darüber hinaus Grund genug dafür sein, sich näher mit dem vorliegenden Material zu befassen.

Die Analysen einer genügend großen Anzahl verschiedenster Gegenstände aus Kupferlegierungen (Gefäße, Möbelteile, Pferdegeschirr, Wagenteile, Glocken usw.) boten Gelegenheit, eventuelle Legierungssysteme des Kupfers mit Zinn, Arsen, Blei und Zink für eine Region zu untersuchen, die im frühen 1. Jahrtausend v. Chr. als »Wiege der Metallurgie« angesehen wird und sicherlich über weitreichende Verbindungen verfügte, sodass unter Umständen auch Einflüssen oder Ausstrahlungen nachgespürt werden kann. Eine Analyse auf die Elemente Zinn (Sn), Arsen (As), Blei (Pb) und Zink (Zn) sowie begleitend auf Antimon (Sb), Silber (Ag) und Nickel (Ni) erschien daher von Bedeutung.

¹ Die traditionelle Bezeichnung »Bronze« wurde zunächst nur auf Kupferlegierungen mit Zinn angewandt; später wurde sie auch vor allem in der Archäologie für die Kombination Kupfer + Arsen = Arsenbronze gebraucht. Da bei vorgeschichtlichen Legierungen

häufig Zusammensetzungen von Kupfer mit mehreren Metallen sehr variabler Konzentration auftreten, sollte man den Begriff »Bronze« nur noch für Kupferlegierungen mit >5 % Zinn (ohne nennenswerte weitere Zusätze) verwenden.

EINZELANALYSEN

Auf der Grundlage der beschriebenen Überlegungen wurden Röntgenfluoreszenzanalysen von zunächst 43 Objekten erstellt. Die Auswahl erfolgte anfänglich nach den Erfordernissen der Restaurierungsabteilung (Prüfung auf Zusammengehörigkeit von Bruchstücken, die zu passen schienen; Prüfung auf Zinkanteil, da Kupferlegierungen, die Zink enthalten, restauratorisch in anderer Weise behandelt werden müssen)². Außerdem wurde eine begrenzte Vielseitigkeit der zu untersuchenden Objekte angestrebt.

Die Analysen wurden jeweils mittels intensiver Röntgenbestrahlung einer kreisförmigen Oberfläche von 5 mm Durchmesser durchgeführt, wobei die Gegenstände vorher an den jeweiligen Bestrahlungsflächen schonend geschabt bzw. in Einzelfällen mit dem Mikrosandstrahl freigelegt wurden. Die entstandene, für die einzelnen Elemente charakteristische Fluoreszenzstrahlung wurde dann mit einem entsprechenden Analysatorkristall je nach Wellenlänge bzw. Energie aufgefächert und gemessen³.

In **Tabelle 1** werden in aufsteigender Zinkkonzentration alle 25 Analysenergebnisse angeführt, deren Zinkwerte < 1 % liegen, während **Tabelle 2** die Resultate jener 18 Objekte zeigt, die > 1 % Zink enthalten⁴.

In **Tabelle 1** fällt auf, dass die Zinnwerte mit $11,80 \pm 1,86$ % relativ konstant sind. Nur ein gegossenes Teil (Nr. 13) und eine Glocke (Nr. 17) zeigen niedrigere Zinnkonzentrationen, die jeweils durch höhere Blei- bzw. Arsenanteile ausgeglichen werden. Die Antimonwerte sind variabel – eine gegossene Röhre (Nr. 15) hat einen recht hohen Wert von 1,06 % (der zudem von einem verhältnismäßig hohen Arsen- und Silberwert begleitet wird). Auch die Silberkonzentration des gegossenen Rings Nr. 13 fällt auf. Die Bleianteile sind variabel bis zu 1,54 % (Glocke Nr. 17); nur die gegossene Röhre Nr. 22 mit 6,91 % Blei stört das einheitliche Bild. Auch für die Arsenwerte sind lediglich die gegossenen Ringe Nr. 13 und 15 außerhalb des Normalen. Die Zinkwerte steigen kontinuierlich von 0,01 bis 0,98 %. Die Nickelkonzentrationen sind ohne Auffälligkeiten.

Es sind also 25 Objekte mit Ausnahme der Glocke Nr. 17 sowie der gegossenen Röhren Nr. 13, 15 und 22 weitgehend einheitlicher Zusammensetzung. Da Zinkanteile bisher größtenteils unbekannt waren, sind auch die hier bestimmten Werte von < 1 % von Bedeutung⁵.

² Bronzefunde werden üblicherweise mit Zinnfolie von schädlichen Salzen befreit. Kupferlegierungen, die Zink enthalten, dürfen so nicht behandelt werden, da die Zinnfolie im Endeffekt das Zink aus der Legierung herauslösen, also beschädigen würde.

³ Röntgenfluoreszenzanlage Siemens SRS 200, Umbau auch für größere Objekte, Wolframröhre 2000 Watt, betrieben mit 32 mA, 48 KV; Analysatorkristall LiF, Szintillationszähler, Zählzeiten 20 und 40 sec. – Die Messung der Strahlung der Elemente Zinn, Antimon, Silber, Zink, Kupfer und Nickel machte dabei keine Schwierigkeiten. Die Strahlungsintensitäten werden jeweils auf ihrem Höhepunkt (Peak) und auf dem begleitenden Untergrund gemessen. Die Elemente Blei und Arsen sind dagegen nur kompliziert erfassbar: Die beiden stärksten Linien (Wellenlängen) $PbL\alpha$ und $AsK\alpha$ überlagern sich exakt und sind daher nicht einzeln messbar. Will man für Blei auf die nächstschwächere Linie $PbL\beta_1$ gehen, so stellt man fest, dass hier die $SnK\alpha$ (II)-Linie erscheint (bei der in Bronzen üblichen Anwesenheit von Zinn). Auch die $AsK\beta_1$ -Linie koinzidiert mit den benachbarten $W\gamma_{2+3}$ -Linien aus der Wolfram-Röntgenröhre. Nur die relativ schwache $PbL\gamma_1$ -Linie ist unbeeinflusst messbar. Für die Messung der As- und Pb-Intensitäten wurde daher eine besondere Zählstrategie entwickelt:

a) Man misst die Summe der Intensitäten $PbL\alpha_1 + AsK\alpha_1$.

b) Aus der vorher gemessenen $SnK\alpha$ -Intensität wird die $SnK\alpha$ (II)-Intensität nach dem bekannten Verhältnis $SnK\alpha$ (I) : $SnK\alpha$ (II) berechnet.

c) Jetzt wird die Summe der Intensitäten $PbL\beta_1 + SnK\alpha$ (II) gemessen. Diese Summe wird um den nach b) erhaltenen Wert für $SnK\alpha$ (II) gekürzt, sodass man über einen Wert für $PbL\beta_1$ verfügt.

d) Aus diesem Wert $PbL\beta_1$ errechnet sich, wieder mit einem empirisch erhaltenen Faktor, ein Wert $[PbL\alpha]_1$.

e) Die relativ schwache $PbL\gamma$ -Linie wird (mit größerer Messzeit) gemessen, ebenfalls mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert, sodass man $[PbL\alpha]_2$ erhält.

f) $[PbL\alpha]_1$ und $[PbL\alpha]_2$ gemittelt, ergibt $PbL\alpha$.

g) Aus der Differenz der nach a) gemessenen Summe ($PbL\alpha + AsK\alpha$) minus $PbL\alpha$ erhält man $AsK\alpha$.

h) Die Bestimmung des Verhältnisses $W\gamma_1 : [W\gamma_{2+3} + (AsK\beta)]$ sichert die Resultate ab.

⁴ Alle in den **Tabellen 1** und **2** aufgeführten Objekte stammen aus dem Komplex O.39778.

⁵ Der Henkel und der Fuß der Schnabelkanne, vermutlich zyprischen Ursprungs (Nr. 6 und 7), fügen sich ein.

	Inv.-Nr.	Objekt	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%	
	O.39778/										
1	154	Helm	12,44	0,12	0,08	0,22	0,19	0,01	86,70	0,02	
2	146	Radkappe	15,05	–	0,02	0,28	–	(0,01)	84,89	0,01	
	(527)										
3	79	Gürtelblechfragm.	13,96	n. b.	–	0,65	n. b.	0,01	85,53	0,03	
4	209	Kugelgefäß	10,20	n. b.	–	0,06	0,03	0,01	89,55	0,14	
5	209	-Henkel	9,60	n. b.	0,04	0,64	0,05	0,02	89,60	0,03	
6	77	Schnabelkelch	15,83	0,04	–	0,16	0,02	0,02	84,28	0,01	Zypern?
	-Henkel										
7	77	-Fuß	14,00	0,07	0,04	0,21	0,14	0,06	85,52	0,03	Zypern?
8	132	Minischild (?)	13,25	–	0,06	0,06	0,02	0,03	86,22	0,03	
9	58	Gefäß	10,95	0,02	0,02	0,16	0,05	0,03	87,88	0,03	
10	493	Großbeschlag	14,92	0,39	0,11	0,79	0,94	0,03	83,30	0,02	
11	191	Bügel	9,40	n. b.	0,04	1,15	0,70	0,04	89,08	0,01	
12	191	-Blechzarge	13,08	n. b.	0,01	0,86	0,66	0,29	85,15	0,05	
13	175	Ring gegossen	7,14	0,23	0,13	1,68	2,02	0,04	90,17	0,03	
14	170	Minischild	12,44	0,25	0,05	0,78	0,32	0,05	86,50	0,02	
15	20	Röhre gegossen	12,30	1,06	0,12	0,97	1,63	0,07	85,31	0,04	
16	140	Ringbarrenteil	10,93	0,06	0,06	0,91	0,36	0,10	87,54	0,01	
17	66	Glocke	5,87	0,09	0,05	1,54	0,13	0,10	90,92	0,04	
18	51	Gürtelblechfragm.	12,43	–	–	–	0,02	0,13	86,62	0,10	
19	205	Rippenschale	14,88	0,21	0,09	0,38	0,47	0,13	84,44	0,04	
20	56	Gefäßboden	12,19	0,26	0,04	0,64	0,41	0,30	86,34	0,07	
21	197	Klammerbeschlag	11,19	0,33	0,07	0,86	0,42	0,35	87,07	0,02	
22	19	Röhre gegossen	9,34	–	0,01	6,91	0,10	0,39	83,34	0,11	
23	200	Klammerbeschlag	11,87	0,57	0,09	1,45	0,99	0,63	85,12	0,04	
24	62	Gefäß	11,76	0,01	0	0,21	0,14	0,98	86,37	0,06	
	(Reagenzglas-Form)										
25	117	Schneckenbeschlag	9,89	0,10	0,05	1,25	0,01	0,98	87,66	0,01	
Durchschnitt			11,80	0,19	0,05	0,66	0,40			0,04	
(ohne Nr. 22)			±1,86								

Tab. 1 Einzelanalysen < 1% Zink (n. b. = nicht bestimmt).

	Inv.-Nr.	Objekt	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%	
	O.39778/										
1	297	spitzovale Blehhülse	11,98	0,08	0,05	0,18	0,20	1,57	85,69	0,01	
2	267	Röhre gegossen	12,26	0,04	0,03	2,98	0,08	1,81	82,53	0,06	
3	173	Ring gegossen	13,20	0,07	0,03	2,30	0,30	1,94	81,80	0,18	
4	386	Beschlagsniet	9,07	0,27	0	0,12	0,61	2,24	86,72	0,11	
5	354	Möbelhülse	14,71	0,08	0,05	0,88	0,46	3,02	80,33	0,02	
6	33	Großbeschlag	8,03	0,09	0,04	0,55	0,08	3,77	86,52	0,02	
7	46	Krallenbeschlag	14,15	0,09	0,04	0,35	0,49	4,54	81,18	0,03	
8	31	Möbelhülse	11,26	0,03	0,02	0,95	0,33	4,80	83,22	0,02	
9	25	Möbelhülse	10,21	0,08	0,06	0,54	0,20	5,25	83,67	0,01	
10	92	Röllchen	10,65	0,20	0,07	0,30	0,39	5,53	82,96	0,03	
11	242	Möbelhülse	9,90	0,09	0,05	2,45	0,23	6,43	82,56	0,03	
12	15	Röhre gegossen	11,65	0,03	0,09	2,94	0,62	6,68	77,75	0,03	
13	96	Beschlag	10,62	0,06	0,04	0,65	0,20	7,11	81,78	0,01	
14	91	Möbelhülse	9,50	0,05	0,05	0,99	0,15	7,26	82,43	0,02	
15	245	Möbelbeschlag	12,18	0,07	0,04	1,30	0,41	8,17	79,52	0,02	
16	129	spitzovale Blehhülse	10,64	0,06	0,03	1,20	0,27	8,90	80,15	0,02	
17	240	Möbelhülse	11,36	0,02	0,03	0,91	0,27	11,84	77,19	0,03	
18a	386	Möbelhülse	9,21	0,14	0,06	1,70	0,38	4,62	83,39	n. b.	mit Patina
18b			7,84	0,11	0,07	0,08	0,27	2,58	88,98	n. b.	ohne Patina
18c			7,08	0,10	0,05	0,64	0,18	3,80	87,97	n. b.	abgeschliffen
Durchschnitt			10,78	0,08	0,04	1,10	0,31			0,04	
			±1,58								

Tab. 2 Einzelanalysen > 1% Zink (n. b. = nicht bestimmt).

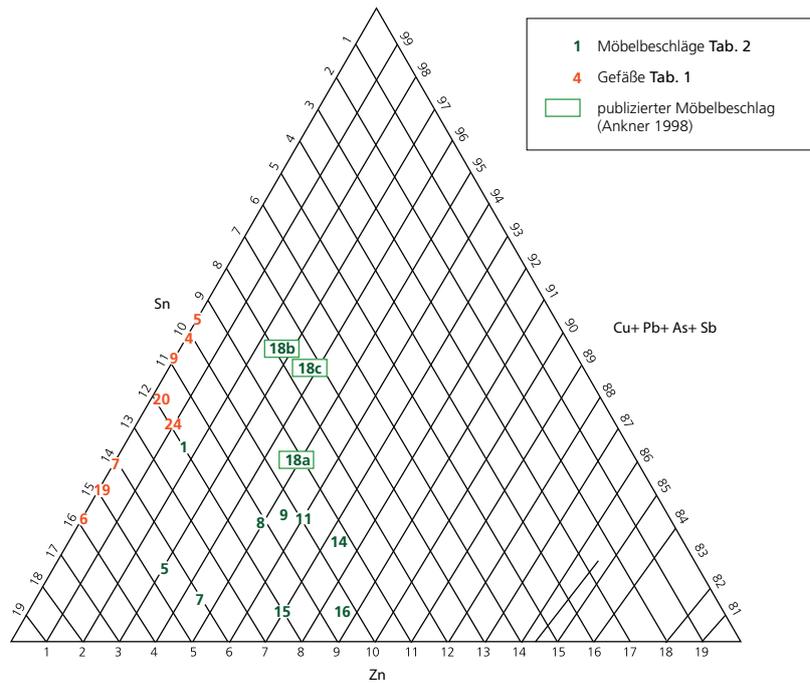


Abb. 1 Dreiecksdiagramm Zinn, Zink und (Kupfer + Blei + Arsen + Antimon) für alle Einzelanalysen. – (Graphik M. Ober, RGZM).

Tabelle 2 zeigt mit durchschnittlich 10,78 % Zinn, einem fast gleichen Wert wie in **Tabelle 1**, mit $\pm 1,58$ % eine ähnliche Varianz. Die Antimonkonzentrationen wie auch die Silberanteile sind sehr homogen (Ausnahme Nr. 4 mit höherem Arsen- und Nickelwert). Bei den Bleiwerten sind wieder bei den gegossenen Teilen (Nr. 2, 3 und 12) sowie bei einem Beschlag (Nr. 11) Abweichungen erkennbar. Blei wurde offensichtlich zur Verbesserung der Gießbarkeit zugesetzt. Die Arsenkonzentrationen sind einheitlich fast immer $< 0,5$ % – im Gegensatz zu jenen der **Tabelle 1**, die oft größer sind. Nur ein Nickelwert ist auffällig. Die Zinkwerte steigen kontinuierlich von 1,57 bis 8,90 % (Ausnahme Nr. 17 mit 11,84 % Zn). Die Probe Nr. 18, bereits veröffentlicht (Ankner 1998), wird mit drei verschiedenen Messungen angeführt: Ein Möbelbeschlag wurde insgesamt mehr als 50-mal in patiniertem, chemisch entpatiniertem und tief abgeschliffenem Zustand analysiert; die Mittelwerte sind als Nr. 18a, b und c aufgelistet.

Die 18 Objekte in **Tabelle 2** sind bei deutlich steigenden Zinkkonzentrationen sonst weitgehend einheitlicher Zusammensetzung. Nur die drei gegossene Röhren (Ringe) Nr. 2, 3 und 12 sowie eine Blechhülse (Nr. 11) haben erhöhte Bleikonzentrationen, die wohl die Gießbarkeit verbesserten. Alle anderen Elemente (Sb, Ag, As und Ni) sind bei Ausschluss der wenigen Ausnahmen (gegossene Röhren bzw. Blechhülse) in einem fast einheitlichen Konzentrationsbereich.

Betrachtet man nun die Objekte und ihre Zusammensetzungen, so ergibt sich, dass

- alle sicheren Möbelbeschläge einen Zinkanteil von > 1 % aufweisen,
- alle gegossenen Röhren höhere Bleiwerte präsentieren,
- die Glocke durch einen besonders niedrigen Zinnwert auffällt und
- alle Gefäße keinen Zinkwert > 1 % zeigen.

Man könnte also ableiten, dass die Hersteller der einzelnen Teile beim Guss Legierungen verwendeten, die mehr Blei enthielten, dass sie für das Treiben von Gefäßen keine Kupferlegierungen mit deutlichen Zinkgehalten benutzten und dass sie für Möbelbeschläge (fast immer) ein zinkhaltiges Metall einsetzten. Bei der begrenzten Anzahl von Analysen sind diese Schlüsse jedoch nicht allgemeingültig – ein Hinweis auf die

beabsichtigte Verwendung spezieller Legierungen für besondere Zwecke ist jedoch gegeben. **Abbildung 1** soll die begründeten Vermutungen verdeutlichen.

ACHSNÄGEL UND IHRE ANALYSEN

Um die Hinweise, die aus den Einzelanalysen erschlossen wurden und die eine kontrollierte Anwendung von bestimmten Legierungen für besondere Zwecke nahelegen, zu einer umfassenden Gültigkeit ausweiten zu können, bedarf es der Untersuchung einer geschlossenen Gruppe von Objekten gleicher Funktion und gleicher oder ähnlicher Form. Bei einer solchen Gruppe könnte man eine absichtliche Verwendung einer spezifischen Legierung am ehesten erwarten. Der dem RGZM vorliegende Komplex »Osttürkei« bzw. »Urartu« enthält elf Achsnägel, die sich für eine solche Untersuchung anbieten: Da der Zweck und die fast als sicher anzunehmende, einheitliche Datierung feststanden, und da Achsnägel zudem im frühen 1. Jahrtausend v. Chr. relativ selten zu sein scheinen (Clausing 2001; Müller-Karpe 1998; Merhav 1991c; Seidl 2004, 119 Abb. 92; Wartke 1990, 83-85 Taf. XXIII), sollte diese charakteristische Formengruppe neben dem naturwissenschaftlichen auch das archäologische Interesse wecken.

Vier der Achsnägel bestehen aus »bronzenen« Knöpfen und eisernen Stangen, die anderen sieben gänzlich aus einer Kupferlegierung. Zunächst wurden die Exemplare mit eisernen Stangen analysiert.

Achsnägel aus Kupferlegierungen und Eisen

Achsnagel O.39778/147 (**Abb. 2** rechts): Länge 20,6 cm, pilzförmiger Knopf Durchmesser 3,0 cm, darunter runde Säule Durchmesser 1,8 cm, Länge 1,8 cm, dann Abschirmungsplatte Kantenlänge 2,7 cm, eiserne Stange Länge 17,3 cm, rechteckiger Querschnitt mit Durchzugsloch Durchmesser ca. 0,45 cm, 0,6 cm von der Abschirmungsplatte entfernt. Foto RGZM T 98/83 rechts.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf seitlich	13,32	1,99	0,33	5,19	5,43	0,05	78,69	0
2. Knopf seitlich	14,30	2,25	0,36	6,05	6,87	0,03	70,13	0
3. Knopf seitlich 90°	16,10	2,65	0,45	2,62	2,60	0,12	75,46	0
4. Knopf seitlich 180°	10,31	1,54	0,22	2,44	3,39	0,07	82,04	0
5. Knopf seitlich 270°	10,71	1,56	0,25	1,85	2,53	0,13	85,60	0
6. Abschirmungsplatte	21,32	3,97	0,61	10,96	14,86	0,15	48,13	0
7. Abschirmungsplatte	20,84	3,83	0,59	11,89	15,11	0,02	47,73	0
Durchschnitt (ohne 6. und 7.)	12,95	2,00	0,32	3,63	4,16	0,08	78,38	0

Tab. 3 Analysen des Achsnagelknopfes O.39778/147.

Die Analysen 1. bis 5. vom Knopf des Achsnagels 147 zeigen eine sehr starke Varianz sowohl bei den hohen Blei- und Arsenwerten als auch beim Zinn (**Tab. 3**). Die Antimongehalte mit 2 % sind erstaunlich hoch⁶: Die überraschende Inhomogenität vor allem der Bleikonzentration ist dadurch zu erklären, dass Blei in Kupfer nur begrenzt löslich ist, d. h., das Blei bleibt in Inseln als Blei ungelöst. Diese Erscheinung, die aus der modernen Technik bekannt ist und »Ausseigern« genannt wird (Dies 1967, 610. 613. 616), wird zudem durch die Anwesenheit von Arsen und Antimon begünstigt. Es ist davon auszugehen, dass der Knopfüberguss (einschließlich der Abschirmungsplatte) mit einer Gusslegierung gefertigt wurde, die ein Übermaß an

⁶ Antimon kommt in allen sulfidischen, aber auch bei oxydischen Erzen fast immer zusammen mit Arsen vor – bei höheren Arsen-

gehalten ist also auch mit erhöhten Antimongehalten zu rechnen, wobei Arsen im Normalfall überwiegt.



Abb. 2 Die Achsnägel Inv.-Nr. O.39778/148 (links) und O.39778/147 (rechts). – (Foto V. Iserhardt, RGZM).

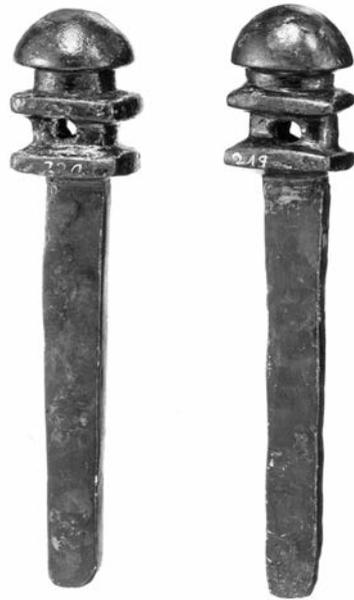


Abb. 3 Die Achsnägel Inv.-Nr. O.39778/149 (links) und O.39778/150 (rechts). – (Foto V. Iserhardt, RGZM).

Blei-Arsen-Antimon enthielt und daher zu einer heterogenen Verteilung, einer Entmischung, führte⁷. Die Röntgenaufnahmen R 08/112-114 bestätigen diese Erklärung.

Achsnagel O.39778/148 (**Abb. 2** links): Länge 20,7 cm, pilzförmiger Knopf Durchmesser 3,1 cm, Säule Durchmesser 2,0 cm, Abschirmungsplatte Kantenlänge 2,8 cm, eiserne Stange Länge 17,4 cm mit Durchzugsloch Durchmesser ca. 0,5 cm, nur 0,3 cm von der Abschirmungsplatte entfernt. Foto RGZM T 98/83 links.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	12,44	1,89	0,39	3,44	2,11	0,09	79,66	0
2. Knopf seitlich	7,55	1,25	0,28	2,97	2,74	0,06	85,17	0
3. Knopf seitlich 180°	11,69	1,87	0,39	4,75	4,75	0,13	76,41	0
4. Knopf seitlich, wie 2.	6,65	1,09	0,24	2,52	2,53	0,07	86,89	0
5. Abschirmungsplatte	9,15	1,44	0,31	1,83	2,37	0,12	84,79	0
Durchschnitt	9,50	1,51	0,32	3,10	2,90	0,09	82,58	0

Tab. 4 Analysen des Achsnagelknopfes O.39778/148.

Die fünf Analysen zeigen im Gegensatz zu jenen des Achsnagels O.39778/147 eine relativ große Einheitlichkeit (**Tab. 4**) – wenn man berücksichtigt, dass die Patina von Punkt zu Punkt verschieden ist (Ankner 1998, 160-161). Die Arsen- und Antimonwerte, aber auch die Blei- und Silberanteile sind wiederum hoch, das Zink ist als Verunreinigung anzusehen.

⁷ Siehe dazu auch die Heterogenität des Achsnagelknopfes O.39778/420 (**Tab. 12**).

Achsnagel O.39778/149 (**Abb. 3 links**): Länge 15,0 cm, pilzförmiger Knopf Durchmesser 3,1 cm, Säule gekantet Durchmesser 1,6 cm, 1. Abschirmungsplatte Kantenlänge 2,6 cm, dann 0,6 cm Zwischenstück mit Durchzugsloch Durchmesser 0,5 cm, 2. Abschirmungsplatte gleicher Kantenlänge – alles Kupferlegierung. Eiserne Stange Länge 10,8 cm, unten abgerundet. Foto RGZM T 98/82 links.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	5,88	0,45	0,13	0,38	1,59	0,04	91,54	0
2. Knopf oben seitlich	6,07	0,5	0,12	0,29	1,01	0,05	91,97	0
3. Abschirmungsplatte	5,83	0,43	0,11	0,44	1,39	0,12	91,66	0
Durchschnitt	5,93	0,46	0,12	0,37	1,33	0,07	91,72	0

Tab. 5 Analysen des Achsnagelknopfes O.39778/149.

Die Konzentrationen der Elemente des nur schwach korrodierten Achsnagelknopfes sind erstaunlich einheitlich (**Tab. 5**). Die geringen Zinnanteile und der relativ deutliche Arsengehalt sind auffallend. Auch der Bleiwert ist für eine Verwendung der Legierung zum Guss sehr niedrig. Die Zinkanteile sind wiederum als Verunreinigungen bzw. als natürliche, geringfügige Beimengungen anzusehen.

Achsnagel O.39778/150 (**Abb. 3 rechts**): Länge 15,4 cm, pilzförmiger Knopf Durchmesser 3,1 cm, Säule Länge etwa 2 cm, zwei rechteckige Abschirmungsplatten Kantenlänge 2,6 cm, dazwischen 0,8 cm rechteckiger Übergangsteil mit Durchzugsloch Durchmesser 0,7 cm – alles Kupferlegierung. Eiserne Stange Länge 11,1 cm, unten abgerundet. Eisen wohl geschmiedet, Knopf und Abschirmungsplatten aufgegossen. Foto RGZM T 98/82 rechts.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	8,53	0,59	0,12	0,76	1,99	0,04	87,98	0
2. Knopf seitlich	8,57	0,63	0,14	0,78	2,58	0,03	87,27	0
3. Abschirmungsplatte	7,10	0,42	0,12	0,38	1,77	0,03	90,19	0
Durchschnitt	8,07	0,55	0,13	0,64	2,11	0,03	88,48	0

Tab. 6 Analysen des Achsnagelknopfes O.39778/150.

Auch hier sind die Bestimmungen der Konzentrationen relativ eindeutig (**Tab. 6**). Die Zinnwerte sind wieder recht niedrig, die Arsen- und Antimonwerte zum Ausgleich relativ höher, die Bleianteile für eine Gusslegierung mit nur 8 % Zinn ziemlich niedrig. Zink ist zu vernachlässigen.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
O.39778/147	12,95	2,00	0,32	3,63	4,16	0,08	78,38	0
O.39778/148	9,50	1,51	0,32	3,10	2,90	0,09	82,58	0
O.39778/149	5,93	0,46	0,12	0,37	1,33	0,07	91,72	0
O.39778/150	8,07	0,55	0,13	0,64	2,11	0,03	88,48	0

Tab. 7 Analysen der Achsnagelknöpfe O.39778/147-150.

Die Resultate für alle vier Achsnägel aus gegossenen Knöpfen und Abschirmungsplatten, die aus Kupferlegierungen bestehen, aber eiserne Stangen haben, werden in **Tabelle 7** gezeigt. Sie führen zu dem Schluss, dass die zwei Achsnägel 147 und 148, also jene zwei Exemplare, deren Eisenstangen länger und breiter sind und die nur eine Abschirmungsplatte aufweisen, auch metallurgisch ein Paar darstellen – auch wenn 147 beim Guss offensichtlich misslungen ist: Beide Achsnägel enthalten neben viel Blei und Arsen (+ Antimon) mehr Silber und Zinn. Auch die höhere Zinnkonzentration weist auf eine zum Gießen gut verwendbare Legierung hin. Die beiden anderen Achsnägel 149 und 150 mit kürzeren und schmaleren Eisenstangen und zwei Abschirmungsplatten sind in ihren Analysendaten so ähnlich, dass man eine Herstellung aus

der gleichen Legierung annehmen kann. Obwohl der Guss mit den zwei Abschirmungsplatten und den jeweiligen Abständen dazwischen bei diesem zweiten Paar wesentlich komplizierter war, wurde eine nicht ideale Legierung mit niedrigem Zinnanteil und wenig Arsen, Antimon und Blei verwendet.



Abb. 4 Die Achs-nägels Inv.-Nr. O.39778/90 (links) und O.39778/152 (rechts). – (Foto V. Iserhardt, RGZM).

Alle vier Achs-nägels mit eisernen Stangen enthalten keine merkbaren Zink- und Nickelgehalte. Zu der ursprünglichen Frage nach einer kontrollierten Verwendung spezieller Legierungen lässt sich aus den Analysen dieser vier Exemplare keine Aussage ableiten.

Achs-nägels aus Kupferlegierungen

Achs-nagel O.39778/90 (**Abb. 4** links): Länge 17,2 cm, weist bei etwa 12,7 cm eine deutliche Einkerbung auf, die sicherlich auf den Gebrauch zurückzuführen ist. Ab dieser Einkerbung ist die Stange etwas verbogen. Nahe der unteren Abschirmungsplatte befinden sich zwei weitere Kerben. Die Stange ist unten abgebrochen(?). Auf der Stange ist eine Absplitterung von etwa 2 cm Breite festzustellen (Ausbruch?). Auf der Stange ist eine pilzförmiger Knopf nicht vollkommen formstabil – leichte Tendenz zur Vierkantigkeit mit Abschrägung zur Kante hin –, zwei rechteckige Abschirmungsplatten Kantenlänge 2,4-2,6 cm, dazwischen rechteckiger Übergangsteil mit rundem Durchzugsloch Durchmesser 0,3-0,4 cm. Foto RGZM T 98/8 links.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	6,99	0,31	0,05	0,15	0,35	0,21	91,95	0,005
2. Knopf seitlich	8,90	0,39	0,05	0,76	0,33	0,12	89,42	0,03
3. Knopf seitlich 90°	10,18	0,48	0,05	1,70	2,54	0,20	84,82	0,04
4. wie 3.	10,48	0,49	0,06	1,62	2,68	0,20	84,44	0,04
5. Knopf seitlich 180°	8,58	0,37	0,05	0,77	1,01	0,12	89,08	0,03
6. Knopf seitlich 270°	9,77	0,45	0,05	1,12	0,98	0,15	87,45	0,03
7. wie 6.	10,01	0,43	0,05	1,05	1,00	0,15	87,28	0,04
8. Abschirmungsplatte	9,17	0,22	0,06	0,77	0,98	0,10	88,70	0,01
Durchschnitt (ohne 3. und 4.)	8,90	0,36	0,05	0,77	0,77	0,14	88,98	0,03
1. Stange Breitseite Mitte	1,10	0,31	0,10	0,26	1,68	0,38	96,17	0
2. Stange Schmalseite	1,11	0,31	0,08	0,12	0,43	0,42	97,54	0
Durchschnitt	1,10	0,31	0,09	0,19	1,05	0,40	96,86	0

Tab. 8 Analysen des Achs-nagels O.39778/90.

Die Anzahl von acht Analysen (**Tab. 8**, Knopf) resultiert aus der Unsicherheit des Analytikers, der bei der Analyse 3. deutlich abweichende, aber dann bei der Analyse 4. bestätigte Werte für Blei und Arsen fand. Alle anderen Ergebnisse sind im normalen Abweichungsbereich. Man beachte, dass die Blei-Entmischung (Analysen 3. und 4.) wieder vom Arsen begleitet wird. Der besonders interessierende Zinkgehalt ist zwar einheitlich gering, aber immerhin merklich. Eine vollkommen andere Zusammensetzung hat die geschmiedete Stange (**Tab. 8**, Stange): Extrem wenig Zinn, fast kein Blei, etwas mehr Zink zu rund 97 % Kupfer sprechen kaum mehr für eine absichtliche Legierung des Kupfers – entweder handelt es sich hierbei um natürliche Verunreinigungen des zugrunde liegenden Erzes, oder man hat zum Kupfer sehr sparsam Zinn zulegiert. Eine dritte Möglichkeit läge in der Verwendung von wenig Altmetall, das mit Kupfer zusammenlegiert wurde.

Achsnagel O.39778/152 (**Abb. 4** rechts): ähnlich dem vorherigen Achsnagel O.39778/90 mit einer deutlich abgenutzten Stange und auch hier mit einer Gebrauchskerbung etwa 8 cm von der unteren Abschirmungsplatte entfernt, noch stärker als das Vergleichsstück seitlich verbogen, Länge 17,0 cm, pilzförmiger Knopf, etwas abgeschrägt, zwei rechteckige Abschirmungsplatten Kantenlänge 2,6-2,8 cm, dazwischen rechteckiger Übergangsteil mit rundem Durchzugsloch Durchmesser 0,3-0,4 cm. Foto RGZM T 98/84 rechts.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	7,84	0,38	0,11	0,74	1,30	0,16	89,45	0,01
2. Knopf seitlich	11,14	0,44	0,10	0,99	1,26	0,16	85,90	0,01
3. Knopf seitlich 90°	10,77	0,39	0,11	0,89	0,94	0,05	86,85	0,01
4. Knopf seitlich 180°	11,51	0,43	0,09	0,60	1,34	0,12	85,89	0,03
5. Abschirmungsplatte	10,93	0,41	0,11	0,83	1,36	0,05	86,30	0,01
Durchschnitt	10,44	0,44	0,10	0,81	1,24	0,11	86,88	0,01
1. Stange Breitseite Mitte	1,20	0,33	0,13	0,17	1,42	0,27	96,47	0,01
2. Stange Schmalseite	1,39	0,35	0,14	0,23	1,22	0,35	96,32	0,01
Durchschnitt	1,30	0,34	0,13	0,20	1,32	0,31	96,40	0,01

Tab. 9 Analysen des Achsnagels O.39778/152.

Mit Ausnahme der Analyse 1. (kleines Loch im Knopf mitbestrahlt) wurden beim Knopf sehr einheitliche Konzentrationen ermittelt: Wie beim Achsnagel 90 sind außer Zinn nur wenige Nebenelemente vorhanden. Das Kupfer der Stange ist mit extrem wenig Zinn und gleich viel Arsen versetzt – eine Zusammensetzung, bei der man annehmen darf, dass die gleiche Legierung wie beim Achsnagel 90 verwendet wurde. Ein Vergleich der beiden auch äußerlich sehr ähnlichen Achsnägel O.39778/90 und 152 (**Tab. 8-9; Abb. 4**) zeigt eine fast nahtlose Übereinstimmung: Die Knöpfe und Abschirmungsplatten wurden aus einer Zinnbronze (Zinn um 10 %) mit einem mäßigen Anteil an Blei und Arsen (jeweils etwa 1 %) hergestellt; der Zinkanteil ist sehr gering. Beide Stangen bestehen dagegen aus einem kaum legierten Kupfer mit nur ca. 1 % Zinn und Arsen, wenig Blei (um 0,2 %) und Zink (um 0,4 %). Eine Herstellung in einer Werkstatt, vielleicht sogar in einer Charge, ist wahrscheinlich.

Achsnagel O.39778/84 (**Abb. 5** links): Länge 15,1 cm, pilzförmiger Knopf Durchmesser 3,0 cm, zwei rechteckige Abschirmungsplatten Kantenlänge 2,7-2,8 cm, dazwischen ein Übergangsteil mit relativ großem Durchzugsloch Durchmesser 0,7 cm, sehr schmale Kerbe unter der unteren Abschirmungsplatte und eine Stange von 11 cm Länge ohne deutliche Abnutzungsspuren. Foto RGZM T 98/85 und T 80/363.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	18,05	0,42	0,09	4,69	0,31	2,26	74,18	0
2. Knopf seitlich	17,09	0,43	0,09	2,76	0,48	1,94	77,21	0
3. Knopf seitlich 90°	13,61	0,37	0,06	4,56	0,17	2,69	78,54	0
4. Abschirmungsplatte	20,09	0,52	0,20	4,35	0,51	2,22	72,10	0
5. wie 4. 90°	12,26	0,27	0,06	2,77	0,20	3,16	81,33	0
Durchschnitt	16,22	0,40	0,10	3,83	0,33	2,45	76,67	0
1. Stange Breitseite	12,41	0	0,05	0,21	0,08	0,26	86,87	0,09
2. wie 1.	13,70	0	0,03	0,27	0,00	0,15	85,78	0,06
3. Stange Schmalseite	12,89	0	0,06	0,16	0,00	0,27	86,51	0,07
4. wie 3.	12,40	0	0,04	0,22	0,00	0,36	86,92	0,06
Durchschnitt	12,85	0	0,04	0,21	0,00	0,26	86,52	0,07

Tab. 10 Analysen des Achsnagels O.39778/84.

Der Knopf einschließlich der Abschirmungsplatte besteht aus einer hoch zinnhaltigen Bronze mit deutlichen Blei- und Zinkanteilen; Arsen und Antimon sind merkliche Verunreinigungen (**Tab. 10**). Auch die Stange ist eine typische Zinnbronze, nun ohne jedes Arsen und Antimon sowie mit wenig Blei und Zink verunreinigt.



Abb. 5 Die Achsnaegel Inv.-Nr. O.39778/84 (links) und O.39778/421 (rechts). – (Foto V. Iserhardt, RGZM).



Abb. 6 Achsnaegel Inv.-Nr. O.39778/420. – (Foto V. Iserhardt, RGZM).

Achsnaegel O.39778/421 (**Abb. 5** rechts): Länge 15,3cm, pilzförmiger Knopf Durchmesser 3,0cm, zwei rechteckige Abschirmungsplatten Kantenlänge 2,7-2,8cm, Übergangsteil dazwischen mit großem Durchzugsloch Durchmesser 0,7-0,8cm, schmale Kerbe unter der unteren Abschirmungsplatte, Stange Länge 11,2cm, keine Abnutzungsspuren. Foto RGZM T 98/85 und T 80/363.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	13,99	0,46	0,06	5,81	0,88	0,67	78,14	0
2. Knopf seitlich	11,80	0,36	0,09	10,34	0,72	1,63	75,05	0
3. wie 2. 90°	13,06	0,42	0,09	3,80	0,64	1,22	80,77	0
4. wie 2. 180°	12,08	0,38	0,08	3,67	0,23	1,39	82,17	0
5. Abschirmungsplatte	11,61	0,36	0,11	2,60	0,06	2,08	83,18	0
6. wie 5.	13,64	0,40	0,08	4,07	0,50	0,88	80,41	0
Durchschnitt (ohne 2.)	12,70	0,40	0,09	3,99	0,50	1,31	80,93	0
1. Stange Breitseite	7,21	0,19	0,07	0,20	0,00	0,38	91,89	0,04
2. wie 1.	7,15	0,19	0,07	0,16	0,00	0,38	92,02	0,03
3. Stange Schmalseite	8,95	0,23	0,07	0,23	0,06	0,46	89,94	0,04
4. wie 3.	8,96	0,23	0,07	0,25	0,08	0,46	89,90	0,04
Durchschnitt	8,07	0,21	0,07	0,21	0,03	0,42	90,94	0,04

Tab. 11 Analysen des Achsnaegels O.39778/421.

Die Kupferlegierung des Knopfes und der Abschirmungsplatten besteht neben Kupfer aus rund 13 % Zinn, einem deutlichen Zusatz von 4 % Blei, weniger Arsen und Antimon (0,5 % und 0,4 %, und damit fast gleichauf) sowie einem mäßigen Zinkgehalt von 1,3 % (**Tab. 11**). Der hohe Bleianteil der Analyse 2. ist sicherlich auf eine lokale Bleiseigerung zurückzuführen. Die geringen Arsen- und Antimonanteile fallen auf. Auch hier ist die Stange aus einer anderen Legierung als der Knopf hergestellt: deutlich weniger Zinn und vor allem Blei, Arsen nur als Spur und wesentlich weniger Zink bei einem Kupfergehalt von >90 %.

Beim Vergleich der beiden, der äußeren Form nach sehr ähnlichen Achsnägel O.39778/84 und 421 (Tab. 10-11; Abb. 5) sind die Kupferlegierungen der beiden Knöpfe mit ihren Arsen-, Antimon-, Blei- und Silberwerten so gleichlaufend, dass man die etwas differierenden Gehalte beim Zinn und Zink gerne übersieht. Die beiden Stangen unterscheiden sich jedoch: Neben dem recht verschiedenen Zinngehalt ist der Antimonanteil ohne Arsen in der Stange 421 auffällig⁸. Obwohl die äußere Form der beiden Achsnägel und die Legierung der Knöpfe sowie der Abschirmungsplatten gleich sind, unterscheiden sich die Stangen trotz fast identischer Grundzusammensetzung beim Zinn- und Antimongehalt deutlich.

Der Achsnagel O.39778/420 (Abb. 6), für den in unserem Komplex kein vergleichbarer Achsnagel vorliegt, ist das kürzeste Exemplar mit 14,3 cm Länge. Unter dem pilzförmigen Knopf und einem rechteckigen Übergangsstück sitzen zwei rechteckige Abschirmungsplatten mit einer Kantenlänge von 2,1-2,3 cm, die durch ein ebenfalls rechteckiges Zwischenstück ohne Durchzugsloch getrennt sind. Die Stange darunter mit 9,3 cm Länge ist offensichtlich unten abgebrochen und zeigt kaum Nutzungsspuren. Foto RGZM T 98/86 und T 80/364; Röntgen R 98/50-55.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	11,05	0,36	0,16	0,07	0,56	0,06	87,55	n. b.
2. wie 1.	10,91	0,38	0,15	0,00	0,57	0,01	87,98	0
3. Knopf seitlich	11,99	0,41	0,18	0,00	0,60	0,02	86,80	0
4. Knopf seitlich 90°	10,47	0,39	0,13	0,02	0,66	0,02	88,32	0
5. Knopf seitlich 180°	11,98	0,39	0,05	0,00	1,19	0,02	86,40	0
6. wie 5.	11,19	0,37	0,15	0,01	0,69	0,01	87,60	n. b.
7. Abschirmungsplatte	11,35	0,40	0,17	0,00	0,82	0,04	87,23	n. b.
Durchschnitt	11,28	0,39	0,14	(Spur)	0,73	0,02	87,41	0
1. Stange Breitseite	1,16	0,03	0,06	0,00	0,12	0,10	98,58	0
2. Stange Breitseite 180°	1,15	0,02	0,05	0,00	0,10	0,05	98,75	0
3. Stange Schmalseite	1,33	0,01	0,03	0,05	0,39	0,05	98,42	0
4. wie 3.	1,72	0,01	0,03	0,17	0,17	0,12	97,32	0
5. wie 3.	1,17	0,02	0,03	0,17	0,15	0,07	98,10	0
Durchschnitt	1,31	0,02	0,04	0,08	0,18	0,08	98,23	0

Tab. 12 Analysen des Achsnagels O.39778/420 (n. b. = nicht bestimmt).

Der Knopf, einschließlich der Abschirmung, besteht aus einer Zinnbronze, in der das Zinn gleichmäßig verteilt ist (auch die Patina ist sehr homogen) und die neben ca. 0,7 % Arsen, 0,4 % Antimon und 0,1 % Silber weder Blei noch Zink enthält (Tab. 12). Die Stange, fast reines Kupfer, weist nur noch Spuren anderer Metalle auf.

Im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen Achsnägeln stammen die beiden folgenden Exemplare aus dem zweiten Komplex (Inv.-Nr. O.39822).

Achsnagel O.39822/66 (Abb. 7 links), pilzförmiger Knopf Durchmesser 3,0 cm, etwas einseitig verformt, dünne Kerbe darunter, runder Übergang von ca. 2 cm Durchmesser und 0,8 cm Länge, darunter zwei rechteckige Abschirmungsplatten, die durch ein ebenfalls rechteckiges Zwischenstück von 0,8 cm Länge verbunden sind, im Zwischenstück ein relativ großes Durchzugsloch Durchmesser 0,7 cm; deutliche Nutzungskerbe unter der unteren Abschirmung, Gesamtlänge 18,0 cm, davon Stange 13,7 cm, wahrscheinlich unten abgebrochen. Foto RGZM T 98/87 links.

⁸ Das Überwiegen des Antimons ist relativ selten und könnte bei Herkunftsüberlegungen des zugrunde liegenden Erzes von Bedeutung sein.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	7,83	1,17	0,33	4,67	5,18	2,13	78,69	0
2. Knopf seitlich	7,64	1,12	0,33	3,92	4,66	2,23	80,12	0
3. wie 2.	7,54	1,09	0,32	4,04	4,55	2,18	80,28	0
4. Abschirmungsplatte	10,49	1,42	0,51	6,97	7,40	2,91	70,29	0
Durchschnitt (ohne 4.)	7,67	1,13	0,32	4,21	4,80	2,18	79,70	0
1. Stange Breitseite	4,90	0,23	0,12	0,31	0,64	0,13	93,66	0,01
2. Stange Breits. 180°	6,72	0,29	0,17	0,66	1,22	0,09	90,84	0,01
3. Stange Breits. neben 1.	4,25	0,20	0,10	0,26	0,58	0,08	94,52	0,01
4. Stange Schmalseite	5,72	0,25	0,13	0,49	0,89	0,11	92,41	0,005
Durchschnitt	5,40	0,24	0,13	0,43	0,83	0,10	92,86	0,01

Tab. 13 Analysen des Achsnagels O.39822/66.

Der Knopf enthält neben »normalen« 8 % Zinn mit jeweils 4-5 % außergewöhnlich viel Blei und vor allem Arsen, begleitet von > 1 % Antimon, deutlich Silber (0,3 %) und außerdem > 2 % Zink – eine echte polymetallische Kupferlegierung (Tab. 13). Die Analyse 4. der Abschirmplatte zeigt eine deutlich durch Korrosion verursachte Abweichung – sie macht anschaulich, wie sich die Analysenwerte durch Auslaugung bzw. Anreicherung verändern: Während Kupfer abnimmt, nehmen alle anderen Elemente zu. Die Stange des Achsnagels mit recht wenig Zinn enthält neben merklichen Anteilen an Arsen (0,8 %) und Antimon (0,25 %) fast kein Blei und Zink.



Abb. 7 Die Achsnägel Inv.-Nr. O.39822/66 (links) und O.39822/67 (rechts). – (Foto V. Iserhardt, RGZM).

Achsnagel O.39822/67 (Abb. 7 rechts), niedrigerer, pilzförmiger Rundknopf Durchmesser 3,0cm, dünne Kerbe darunter, runder Übergang Durchmesser 1,8cm und Länge 0,9cm, der zu den zwei rechteckigen Abschirmungsplatten (Kantenlänge 2,4-2,5cm) mit relativ großem Durchzugsloch Durchmesser 0,7-0,8cm führt; deutliche Nutzungsspuren unter der unteren Abschirmungsplatte, Gesamtlänge 17,6cm, davon die verbogene Stange 13,5cm, Knick mit Kerbe 5,8cm vom unteren Ende. Foto RGZM T 98/87 rechts.

Die Legierung des Achsnagelknopfes 67 enthält neben Kupfer etwa 7 % Zinn, fast 4 % Arsen, rund 1 % Antimon, annähernd 3 % Blei und fast 2 % Zink (Tab. 14). Der Silbergehalt ist mit etwa 0,3 % ungewöhnlich. Die Analyse 2. muss aus der Bewertung ausgeschieden werden – der hohe Bleiwert zeigt eine Bleiausscheidung, die auch in einer Röntgenaufnahme (R 08/113) nachgewiesen werden konnte. Die Zinnbronze der Stange mit rund 6 % Zinn enthält bei >90 % Kupfer neben ca. 1,2 % Arsen nur wenig Blei und fast kein Zink.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
1. Knopf oben zentral	7,17	1,08	0,28	2,73	3,50	0,48	83,76	0
2. Knopf oben zentral (korr.)	9,16	1,50	0,36	7,21	8,48	1,23	72,06	0
3. Knopf oben seitlich	6,58	0,99	0,24	2,64	3,54	1,48	84,52	0
4. Abschirmungsplatte	5,35	0,86	0,25	2,37	3,78	2,03	85,37	0
Durchschnitt (ohne 2.)	6,37	0,98	0,26	2,58	3,60	1,66	84,55	0
1. Stange Breitseite	7,72	0,33	0,19	0,60	1,97	0,16	89,02	0,02
2. Stange Breits. 180°	4,40	0,20	0,11	0,21	0,70	0,12	94,25	0,015
3. Stange Schmalseite	5,51	0,24	0,13	0,31	1,04	0,06	92,67	0,015
Durchschnitt (ohne 4.)	5,88	0,26	0,14	0,37	1,24	0,11	91,98	0,015

Tab. 14 Analysen des Achsnagels O.39822/67.

Beim Vergleich der beiden, der Form nach ähnlichen Achsnägel O.39822/66 und 67 (Tab. 13-14; Abb. 7), die auch fast gleiche Nutzungsspuren aufweisen, ergibt sich ein deutliches Bild: Die Kupferlegierungen der beiden Knöpfe mit jeweils 7-8 % Zinn, rund 3-5 % Blei und Arsen, 1 % Antimon und nahe 2 % Zink sowie ungewöhnlichen 0,3 % Silber sind zum Verwechseln ähnlich. Diese polymetallische Kupferlegierung ist offensichtlich für beide Gussvorgänge verwendet worden. Die nach ihrer Zusammensetzung von den Knöpfen vollkommen verschiedenen Stangen sind untereinander auch nahezu gleich: Zinngehalte von rund 5 % werden von 1 % Arsen, 0,2-0,3 % Antimon und ca. 0,5 % Blei begleitet. Der Zinkanteil ist jeweils als Verunreinigung anzusehen.

Die Übereinstimmung der beiden Achsnägel bei Knöpfen und Stangen lässt für beide Exemplare die Herstellung in einer Werkstatt vermuten.

BEWERTUNG DER ANALYSEN

Fehlerrechnung

Betrachtet man die Ergebnisse der Analysen der Achsnägel, fällt die ungewöhnlich starke Streuung der verschiedenen Untersuchungen eines Knopfes oder einer Stange auf. Es ist notwendig, diese Varianzen zu erklären, da sonst das Vertrauen des Lesers in die Relevanz dieser (aber auch anderer) Analysen erheblich geschädigt würde. Der Bewertung der Resultate muss daher eine sogenannte Fehlerrechnung vorausgehen. Diese muss »Fehler« der Analysen, aber auch solche, die durch die heterogene Verteilung der Legierungskomponenten auf den zu untersuchenden Flächen entstehen, berücksichtigen (Ankner 1998).

Die Messung von Impulsraten der charakteristischen Fluoreszenzstrahlung der verschiedenen Elemente unterliegt den gleichen Gesetzen wie der radioaktive Zerfall, und es sind daher die gleichen statistischen Fehler zu erwarten: Werden N Impulse gemessen, so hat die Standardabweichung τ die Größe \sqrt{N} . Für die Messung der Strahlung eines Elements sind mindestens zwei Messungen (Peak N_L und Untergrund N_U) – häufig aber auch mehrere Messungen⁹ – notwendig, die nach den statistischen Gesetzen die Standardabweichung der Messung auf $\tau = \sqrt{N_L + N_U + \dots + N_x}$ erhöhen. Dieser Fehler ist damit einfach zu bestimmen.

Neben dem statistischen Fehler können auch apparative Fehler auftauchen, die durch eine Inkonstanz der bestrahlenden Röntgenröhre oder des messenden Szintillationzählers sowie durch variable atmosphärische Bedingungen zu erklären sind. Dieser apparative Fehler s ist durch Mehrfachmessungen an ein und derselben Oberfläche weitgehend zu erfassen.

Heterogene Verteilung

Bei der Analyse einer patinierten Oberfläche deutet schon die variable Färbung darauf hin, dass auch die Zusammensetzung von Punkt zu Punkt verschieden sein wird. Dieser Fehler der heterogenen Verteilung ζ ist mit Sicherheit der schwerwiegendste.

Die drei Fehler τ , s und ζ ergeben zusammen den bei unseren Messungen erzielten Gesamtfehler σ nach der Formel: $\sigma = \sqrt{\tau^2 + s^2 + \zeta^2}$.

⁹ Siehe dazu Anm. 3, bes. die Messungen von Blei und Arsen.

Art des Fehlers		Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%
Achsnelknopf O.39778/148 – Analysen 2. und 4., Tab. 4								
statistischer Fehler aus Messdaten 2.	τ (%)	0,02	0,01	0,01	0,12	0,11	0,01	0,06
apparativer Fehler aus Vergleich 2. und 4.	s (%)	0,45	0,08	0,02	0,23	0,11	0,01	0,76
Gesamtmessfehler aus Daten 1. bis 5. daraus:	σ (%)	2,06	0,30	0,05	0,80	0,74	0,02	3,64
Fehler heterogene Verteilung	ζ (%)	2,01	0,29	0,04	0,76	0,72	0,02	3,55
Achsnelknopf O.39778/90 – Analysen 3. und 4., Tab. 8								
statistischer Fehler aus Messdaten 3.	τ (%)	0,03	0,02	0,01	0,19	0,27	0,01	0,05
apparativer Fehler aus Vergleich 3. und 4.	s (%)	0,15	0,01	0,01	0,04	0,07	0,00	0,19
Gesamtmessfehler aus Daten 1. bis 8. daraus:	σ (%)	0,85	0,07	0,01	0,38	0,69	0,04	1,90
Fehler heterogene Verteilung	ζ (%)	0,84	0,07	0,00	0,33	0,63	0,04	1,89

Tab. 15 Berechnung des Fehlers der heterogenen Verteilung.

Der nicht direkt messbare Fehler der heterogenen Verteilung der Patina kann aber aus der vorhergehenden Formel abgeleitet und damit berechnet werden zu $\zeta = \sqrt{\sigma^2 - \tau^2 - s^2}$, da man sowohl den statistischen Fehler τ als auch den apparativen Fehler s und den Gesamtfehler σ durch die Messungen kennt bzw. berechnen kann.

Eine solche »Fehler«-Betrachtung wird exemplarisch für zwei unserer Achsnagelanalysenreihen vorgelegt, bei denen Doppelmessungen an einem Punkt (zur Berechnung des apparativen Fehlers s) vorgenommen worden waren (**Tab. 15**).

In beiden Beispielen ist der berechnete Fehler der heterogenen Verteilung – also jener Fehler, der nur dadurch zu erklären ist, dass sich die Zusammensetzungen an verschiedenen Punkten der untersuchten Oberflächen unterscheiden – der bedeutsamste »Fehler«. Damit ist für diese beiden Achsnagelknöpfe eindeutig bewiesen, dass hier die Konzentrationen von Punkt zu Punkt differieren – ein Beleg für eine augenscheinliche Tatsache, aber auch ein Beleg, der die Notwendigkeit einer kritischen Beurteilung chemischer Analysen patinierter Gegenstände unterstreicht (Geilmann 1956; Moorey/Schweizer 1972, 198; Ankner 1998). Eine Untersuchung der »Fehler« aller anderen Achsnagelanalysen ergibt durchweg gleichlaufende Ergebnisse.

Dokumentation der Analysen

Damit ist nun nachgewiesen, dass Analysen an einem Punkt eines patinierten Objekts nur Zufallsergebnisse sind, sodass eine Angabe, wonach z. B. der Gegenstand O.39822/67 (**Tab. 14**, Stange) eine Zinnkonzentration von 7,72 % (oder 4,40 % oder 5,51 %) habe, weitgehend irrelevant ist, da die jeweilige Angabe nur für den einen spezifischen, gemessenen Punkt gilt. Die Genauigkeit 7,72 % stimmt zwar für diesen Punkt, sie ist aber ohne Bedeutung, da die Zinnkonzentration schon einen Millimeter daneben eine andere ist. Selbst die gemittelte Angabe von $5,88 \pm 1,23$ % Zinn (**Tab. 14**, Stange) ist nur ein begründeter Anhaltspunkt für die tatsächliche Zusammensetzung der ganzen Achsnagelstange, deren Metall je nach den Boden- und Wasserverhältnissen mehr oder weniger eine Auslaugung des Kupfers, eine Anreicherung des bei der Korrosion aus Zinn entstandenen, unlöslichen Zinndioxids (oder schwerlöslichen Arsen- und Antimonoxids) oder

Tab. 16a Gemittelte Ergebnisse der Achsnagelanalysen.

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
O.39778/								
147 Knopf	12,95	2,01	0,32	3,63	4,16	0,08	78,38	0
148 Knopf	9,50	1,51	0,32	3,10	2,90	0,09	82,58	0
149 Knopf	5,93	0,46	0,12	0,37	1,33	0,07	91,72	0
150 Knopf	8,07	0,55	0,13	0,64	2,11	0,03	88,48	0
90 Knopf	8,90	0,36	0,05	0,77	0,77	0,14	88,98	0,03
152 Knopf	10,44	0,41	0,10	0,81	1,24	0,11	86,88	0,01
84 Knopf	16,22	0,40	0,10	3,83	0,33	2,45	76,67	0
421 Knopf	12,70	0,40	0,09	3,99	0,50	1,31	80,93	0
420 Knopf	11,28	0,39	0,14	0,00	0,73	0,02	87,41	0
O.39822/								
66 Knopf	7,67	1,13	0,32	4,21	4,80	2,18	79,70	0
67 Knopf	6,37	0,98	0,26	2,58	3,60	1,66	84,55	0
O.39778/								
90 Stange	1,10	0,31	0,09	0,19	1,05	0,40	96,86	0
152 Stange	1,30	0,34	0,13	0,20	1,32	0,31	96,40	0
84 Stange	12,85	0,00	0,04	0,21	0,00	0,26	86,52	0,07
421 Stange	8,07	0,21	0,07	0,21	0,03	0,42	90,94	0,04
420 Stange	1,31	0,02	0,04	0,08	0,18	0,08	98,23	0
O.39822/								
66 Stange	5,40	0,24	0,13	0,43	0,83	0,10	92,86	0
67 Stange	5,88	0,26	0,14	0,37	1,24	0,11	91,98	0

Tab. 16b Ursprüngliches Metall der Achsnägel (Näherung).

	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%
O.39778/								
147 Knopf	10,3	1,6	0,25	2	2,5	0,1	83	0
148 Knopf	7,5	1,2	0,3	2	2,2	0,1	87	0
149 Knopf	5,8	0,4	0,1	0,3	1,2	0,1	92	0
150 Knopf	7,5	0,5	0,1	0,4	1,8	0,05	90	0
90 Knopf	7,5	0,3	0,05	0,7	0,6	0,1	91	0,03
152 Knopf	10,3	0,4	0,1	0,6	0,9	0,1	88	0,01
84 Knopf	13	0,4	0,1	3	0,2	3	81	0
421 Knopf	11,5	0,4	0,1	3,5	0,4	2	83	0
420 Knopf	10,5	0,4	0,1	0	0,6	0	88	0
O.39822/								
66 Knopf	7,5	1,1	0,3	4	4,5	2,5	80	0
67 Knopf	6	1,0	0,3	2,5	3,5	2	84	0
O.39778/								
90 Stange	1,1	0,3	0,1	0,2	0,8	0,4	97	0
152 Stange	1,2	0,3	0,1	0,2	1	0,3	97	0,01
84 Stange	12	0	0,05	0,2	0	0,3	87	0,05
421 Stange	7	0,2	0,1	0,2	0	0,4	92	0,05
420 Stange	1,2	0,02	0,05	0	0,2	0,1	98	0
O.39822/								
66 Stange	4,5	0,2	0,1	0,4	0,8	0,1	94	0,01
67 Stange	4,5	0,2	0,1	0,3	1,0	0,1	94	0,01

verschiedene andere gravierende Veränderungen erfahren hat. Eine Dokumentation der gemittelten Analyseergebnisse kann daher bei Berücksichtigung der vermeintlich erzielten großen Genauigkeit zu verwirrenden Konsequenzen führen.

Zur besseren Beurteilung der Resultate werden daher Näherungswerte, die aus den gemittelten Analysenwerten abgeleitet sind, eingesetzt. Bei der Festlegung dieser Werte sind folgende Erwägungen berücksichtigt worden:

- Jene Einzelanalyse aus der Analysenreihe, die die höchste Kupferkonzentration anzeigt, dürfte am ehesten dem ursprünglichen Metall nahekommen. Der niedrigste Zinnanteil ist dementsprechend für das ursprüngliche Metall der nächstliegende Wert (Geilmann 1956; Ankner 1996; Ankner 1999).

- Auch die Konzentrationen von Arsen, Antimon und Blei sind wie beim Zinn im patinierten Bereich erhöht.
- Zink ist je nach Lage-, Boden- und Wasserverhältnissen in der Fundumgebung unterschiedlichen Veränderungen der Zusammensetzung unterworfen, sodass hier eine gewisse Unsicherheit besteht. Im Normalfall ist jedoch für Zink eine Abnahme des Gehalts in der Patina vorauszusetzen.
- Offensichtliche Entmischungsprozesse bzw. Seigerungen, wie sie für Blei nachgewiesen sind und bei Anwesenheit von Arsen und Antimon deutlich gefördert bzw. verstärkt werden, müssen für die Ermittlung der Näherungswerte entsprechend bedacht werden.

Eine Auflistung (**Tab. 16a**) aller gemittelten Analyseergebnisse für Knöpfe und Stangen aus den **Tabellen 3-14** wird daher den vom Autor angenäherten, idealisierten Werten für das ursprüngliche Metall gegenübergestellt (**Tab. 16b**).

Ergebnisse

Knöpfe (einschließlich der Abschirmungsplatten) und Stangen der Achsnägel bestehen immer aus zwei verschiedenen Legierungen.

Die Kupferlegierungen (nicht Bronzen!) von fünf der sieben Stangen enthalten max. 5 % Zinn; alle Stangen sind ohne nennenswerte Anteile an anderen Metallen, wenn man von kleineren Anteilen an Arsen bzw. Antimon absieht.

Die Knöpfe und Abschirmungsplatten – durchweg höher legiert und damit besser zu gießen – zeigen eine deutliche Variation der Anteile für Arsen, Antimon, Blei, Zink und Silber. Es gibt keine einheitliche Achsnagellegierung.

Die äußerlich ähnlichen Achsnagelpaare 147+148, 149+150, 90+152, 84+421 und 66+67 sind auch in ihrer Zusammensetzung ähnlich bzw. gleich.

Vier der elf Achsnagelknöpfe enthalten 2-4 % Zink, eine Bestätigung für jenen in **Tabelle 2** schon nachgewiesenen Anteil in urartäischen Kupferlegierungen.

Auch kleine Zinkkonzentrationen von 0,1-0,4 %, die sich in den meisten anderen Achsnägeln dokumentieren lassen, sind insofern von Bedeutung, als sich in fast allen anderen Untersuchungen zu Kupferlegierungen im Nahen Osten des 2.-1. Jahrtausends v. Chr. Zink nicht nachweisen ließ. Zink in urartäischem Buntmetall scheint ein Spezifikum zu sein.

Analysen nur an einem Punkt eines patinierten Objekts sind Zufallsergebnisse und bieten daher keine verlässliche Grundlage für die Beurteilung der Zusammensetzung des zugrunde liegenden Metalls.

URARTÄISCHE LEGIERUNGEN

Achsnagellegierungen

Eine Unterteilung der insgesamt 18 Analysen der Achsnägel – die jeweils durch viele Analysen zertifiziert sind, also einen hohen Grad annähernder Genauigkeit aufweisen – ist nach den vier wesentlichen Parametern der Zusammensetzung (Cu, Sn, As + Sb, Pb) vorzunehmen. Eine multiple Sequenzreihung ergab bei den Elementen Blei und Zink jeweils relativ gute Resultate für die jeweilige Separierung; der (As + Sb-)Parameter zeitigte mehr Zufallsergebnisse. Da das Auftreten des Zinks als Legierungselement auf besonderes Interesse stößt, erfolgte die primäre Differenzierung der Legierungen nach diesem Element (**Abb. 8**).

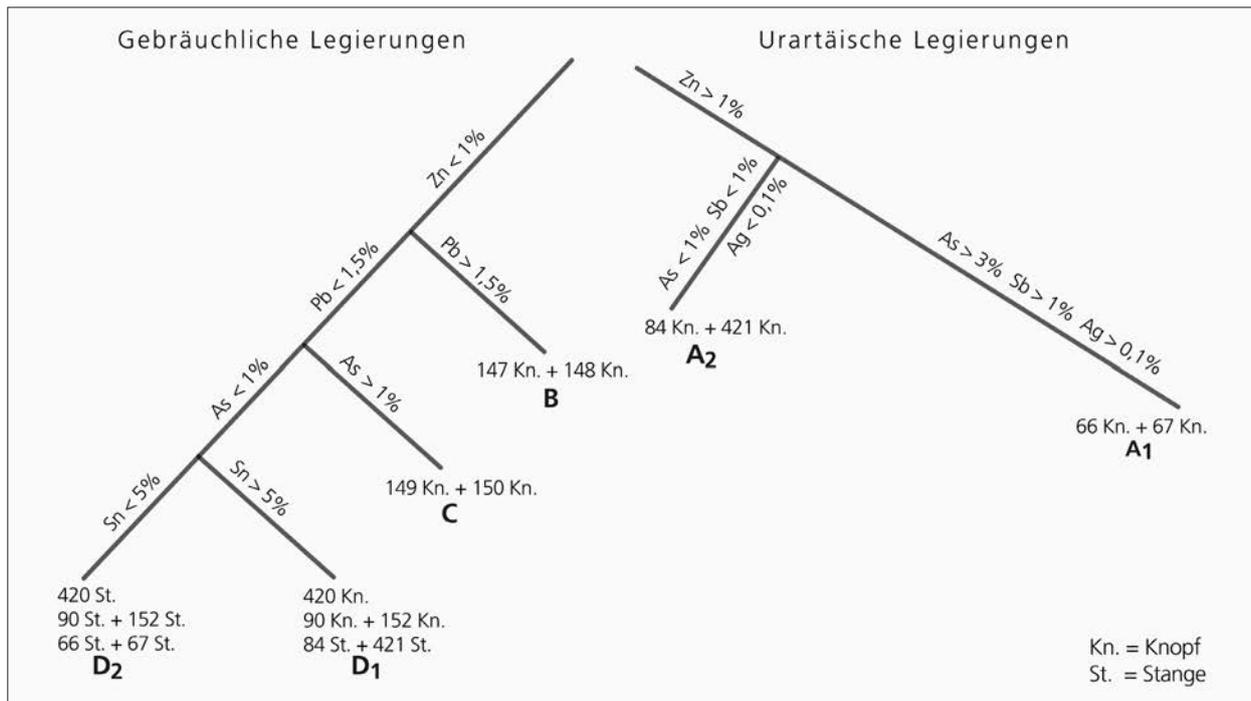


Abb. 8 Differenzierung der Legierungen. – (Graphik M. Ober, RGZM).

Die zwei Analysenpaare Knopf 84 + Knopf 421 und Knopf 66 + Knopf 67, jeweils mit deutlichem Zink- und Bleianteil, unterscheiden sich dadurch, dass Knopf 66 + Knopf 67 darüber hinaus relativ viel Arsen und Antimon, aber auch das seltenere Silber aufweist (Legierungen A₁ und A₂).

Die 14 anderen Analysen werden nun nach dem Bleigehalt separiert: Nur das Analysenpaar Knopf 147 + Knopf 148 zeigt Bleianteile, die, wie oben, von auffälligem Arsen-, Antimon- und Silbergehalt begleitet werden (Legierung B).

Von den verbleibenden zwölf Analysen weisen lediglich die zwei Analysen des Paares Knopf 149 + Knopf 150 deutliche Arsen- und Antimongehalte nach (Legierung C).

Eine letzte Unterteilung ist durch die Zinnanteile möglich: Fünf Analysen von Zinnbronzen ohne besondere metallurgische Eigenheiten stammen von dem Einzelstück Knopf 420, dem Paar Knopf 90 + Knopf 152 sowie von dem Analysenpaar Stange 84 + Stange 421 (Legierung D₁).

Die übrigen Stangen – Stange 420 (Einzelstück) sowie die Paare Stange 90 + Stange 152 und Stange 66 + Stange 67 – sind entsprechend dem niedrigen Zinngehalt nicht mehr als Bronzen anzusprechen (Legierung D₂).

Die Differenzierung der Analysen in die verschiedenen Legierungen wird in **Abbildung 8** veranschaulicht. Die Legierungen A₁ und A₂ sind als Kupferlegierungen mit Zinn-, Blei- und Zinkanteilen, mit oder ohne Arsen und Antimon, zu bezeichnen. Die geringen Zinkanteile verbieten es hier von Messing zu sprechen, da diese Benennung erst für Kupfer-Zink-Legierungen mit mehr als etwa 8 % Zink anzuwenden ist.

Die Legierung B wird im üblichen Sprachgebrauch wohl als Bleibronze bezeichnet; da aber in der modernen Metallurgie der Zusatz von Arsen und Antimon für Bleibronzen nicht bekannt ist, sollte man auch bei dieser multiplen Legierung eher von einer Kupferlegierung mit Arsen, Antimon und Blei sprechen.

Die Legierung C ist eine ebenso in anderen Zusammenhängen durchweg bekannte Zinnbronze, die – wie in der Vorgeschichte häufig üblich – mit Arsen und Antimon versetzt ist.

Legierung	Sn%	Sb%	Ag%	Pb%	As%	Zn%	Cu%	Ni%	Elemente
A ₁	7	1	0,3	2,5	3	2,5	83	0	CuSnAsZnPbSb
A ₂	12	0,3	0,1	3	0,3	2	82	0	CuSn ZnPb
A ₃	10	0,1	0,05	0,3	0,2	2-8	84	Spur	CuSn Zn
B	9	1,5	0,3	2	2	0,1	85	0	CuSnAs PbSb
C	7	0,5	0,1	0,4	1,5	0,1	90	0	CuSnAs Sb
D ₁	10	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2	89	Spur	CuSn
D ₂	1-5	0,2	0,1	0,2	0,5	0,2	94-98	Spur	Cu(Sn)

Tab. 17 Idealisierte Normwerte der aus den Analysen abgeleiteten Legierungen.

Die Legierungen D₁ und D₂, beide ohne wesentliche Arsen- und Antimonanteile, sind Kupfer-Zinn-Legierungen, deren erste als Zinnbronze, die zweite aufgrund des sehr geringen Zinngehalts als niedrig legierte Kupferlegierung mit wenig Zinn zu bezeichnen ist.

Achsnagel- und Einzelanalysenlegierungen

Beim Vergleich der Achsnagelanalysen mit den in den **Tabellen 1-2** aufgeführten Analysen von 43 verschiedenartigen Objekten, bei denen die Auswahl doch weitgehend zufällig war und die zudem lediglich an einem Punkt analysiert worden waren (wonach, wie oben gesagt, die Ergebnisse nur als Anhaltspunkt oder Indiz gewertet werden dürfen), ergeben sich Parallelen, aber auch neue Beurteilungen:

In **Tabelle 1** (25 Analysen, Zink immer < 1 %) befinden sich drei Analysen, deren Bleiwerte > 1,5 % liegen (gegossener Ring Nr. 13, Glocke Nr. 17 und gegossene Röhre Nr. 22), die also der Legierung B zuzurechnen wären; die Arsen- und Antimonwerte entsprechen jedoch lediglich bei Nr. 22 dieser Legierung. Alle anderen 22 Analysen passen (mit Ausnahme von Nr. 15 – wieder einer gegossenen Röhre, nun mit etwas höheren Arsen- und Antimongehalten) in den Rahmen der Legierung D₁.

Nur einige Arsen- und Antimonwerte spezieller Gegenstände erschweren eine Einordnung in das Schema der Achsnagellegierungen.

Die Analysen der **Tabelle 2** (18 Analysen, Zinkanteil 1,57-8,90 % kontinuierlich ansteigend – Ausnahme 11,84 %) sprechen in vier Fällen (Nr. 2, 3, 11 und 12 – drei gegossene Teile und eine Möbelhülse¹⁰) für eine Zuordnung zur Legierung A₂. Alle anderen Analysen lassen eine Zuweisung zu den zinkhaltigen Legierungen A₁ und A₂ nicht zu, da die Blei-, Arsen- und Antimonhalte zu niedrig sind. Diese Analysen werden daher zu einer neuen zinkhaltigen Legierung A₃ zusammengefasst, einer Zinn-Zink-Kupfer-Legierung, die man nach modernen DIN-Richtlinien »Rotguss« nennt. Alle nunmehr kategorisierten Legierungen lassen sich idealisiert mit »Normwerten« beschreiben (**Tab. 17**).

Fremdanalysen

Eine Annäherung an die metallurgischen Möglichkeiten der urartäischen Metallhandwerker ist nur zielführend, wenn man die in der Literatur bisher publizierten Analysen urartäischer Gegenstände – aber auch von Objekten zeitlicher und räumlicher Nähe – mitberücksichtigt, da unsere beiden Fundkomplexe trotz ihres

¹⁰ Die Möbelhülse könnte unter Umständen im Fundzustand durch benachbarte Objekte kontaminiert gewesen sein, und damit einen höheren Bleigehalt vortäuschen.

beträchtlichen, zahlenmäßig großen Umfangs eine Zufallsauswahl darstellen. Besondere Beachtung müssen dabei die bisher nicht auffälligen Zinkanteile erfahren.

Urartäische Objekte

Eine frühe Analyse (Meyer 1968, 219) berichtet von einer verzierten Bronzesäule von 22 cm Länge, die 82,02 % Kupfer, 11,4 % Zinn, 3,98 % Zink, 1,56 % Eisen, 0,45 % Blei und 0,43 % Arsen enthält (Legierung A₃).

18 Analysen urartäischer »Bronzen« aus Toprakkale und Altintepe erstellten Hughes u. a. (1981). Sie stammen von Möbelbeschlägen, einer Pferdetränse und Gefäßteilen: Neben sieben Objekten aus Kupferlegierungen mit wenig Zinn (Legierung D₂), sieben Zinnbronzen (Legierung D₁) und zwei Bleibronzen kommen zwei zinkhaltige Gegenstände vor: ein Möbelbeschlag Nr. 12 mit 4,7 % Zink sowie 1,6 % Blei (Legierung A₂) und eine Pferdetränse Nr. 16 mit 1,8 % Zink und 0,32 % Blei (Legierung A₃). Die gleichen Autoren (Hughes u. a. 1988) untersuchten 140 Bronzegefäße von Nimrud. Nur zwei Gefäße vom »assyrischen« Typ enthalten neben Zinn etwa 6 % Zink.

Die Analysen von drei Komponenten eines urartäischen Kandelabers mit der Inschrift »Menua« – also genau unser Zeithorizont – ergeben neben 5-7 % Zinn und 1 % Blei Zinkanteile von 5,0, 1,4 und 4,1 % (Merhav 1991a, 347) (Legierung A₂ oder A₃). Bei der Untersuchung von zehn urartäischen Bronzen aus Ayanis (um 700 v. Chr.) findet sich eine »Bronze«-Analyse mit 10 % Zinn, 2,1 % Zink, 0,4 % Blei, 0,48 % Arsen und 0,16 % Antimon (Reindell/Riederer 2003, 205) (Legierung A₃). Alle anderen Analysen entsprechen hier normalen Zinnbronzen (Legierung D₁).

Die ergiebigste Datenbank auf dem Gebiet unserer Untersuchung findet man bei Riederer (2002): Von 40 urartäischen (und assyrischen) Gegenständen weisen sechs Objekte auf den Legierungstyp Kupfer-Zinn-Zink mit 3,5-7,7 % Zink (Legierung A₃); ein Armreif (XI c 4761) gehört angenähert zu unserer Legierung B, während alle anderen 33 Analysen wiederum als normale Zinnbronzen zu bezeichnen sind (Legierung D₁). Man beachte, dass nur einer (Legierung A₃) von 6 Helmen und 2 (Legierungen A₃ und B) von 15 Armreifen aus der Gruppe der normalen Zinnbronzen herausfallen (Riederer 2002, 224f.).

Aufschlussreich sind 750 Analysen anatolischer Objekte (Esin 1969), bei denen etwa 600 Gegenstände > 1 % Zinn, Arsen oder Blei enthalten (wobei in etwa 300 Fällen von Arsenwerten von 1-6 % berichtet wird). Zink scheint nicht nennenswert nachgewiesen worden zu sein.

Objekte geographischer/zeitlicher Nähe

Von Tepecik und Tülintepe wurden außer älteren Gegenständen auch 34 hethitische und 7 eisenzeitliche Objekte analysiert (Çukur/Kunç 1989): Die Nebenelemente sind geringfügig, Zink fast immer < 0,1 %; aus der Reihe der üblichen Bronzen ragen nur vier Gegenstände mit > 1 % Arsen und ein Fragment mit 22 % Blei heraus – es ist keine Nähe zur urartäischen Metallurgie erkennbar.

Unter 560 Analysen von Luristan-Objekten (Riederer 2002, 206-221) finden sich nur siebenmal Zinkkonzentrationen von > 1 %, die zudem fast alle zwischen 10 und 27 % liegen – also nicht in jenen Bereichen, wie wir sie bei urartäischen Gegenständen kennenlernten. Etwa jede siebte Analyse zeigt > 2 % Blei; Arsen und Antimon sind häufig, was nicht erstaunt, da jede vierte Analyse einen Zinnwert von < 5 % aufweist, sodass eine gute Bearbeitbarkeit nur durch den Arsen-Antimon-Anteil gewährleistet werden konnte. Im Luristan-Bereich ist also eine deutlich andere Metallurgie anzutreffen als in der urartäischen Region.

Auch im Iran des 9.-7. Jahrhunderts v. Chr. findet sich bei den Riedererschen Analysen nie Zink, fast immer wenig Zinn und Arsen (Antimon) sowie nur da und dort einige Prozent Blei – auch hier keine Verwandtschaft zur urartäischen Metallurgie mit ihren deutlichen Legierungszusätzen und vor allem mit ihrem Zinkeinsatz (Riederer 2002, 222f.).

Schließlich sei noch erwähnt, dass auch bei 210 wesentlich älteren, analysierten Funden aus dem Kaukasus (2. Jt. v. Chr.) kein Zink nachgewiesen wurde (Riederer 2002, 201-206). 10 % Arsen und 3 % Antimon sind nicht selten, die Kupferlegierungen sind mit >90 % – sogar bis 95 % – Kupfer sehr schwach legiert. Selimchanow (1974, 72) berichtet dagegen ohne Beleg, »dass Bronze mit einem hohen Zinkzusatz im Nahen Osten und im Kaukasus bereits in der 1. Hälfte v. u. Z.« aufgetreten sei.

Der Hinweis, wonach im phrygischen Bereich (vor allem in Möbelbeschlägen aus Gordion) Zink sehr häufig enthalten sei, darf hier nicht fehlen¹¹.

Analysen frühkyprischer Funde aus Vounous Bellapais, Zypern, die einige Prozent Zink enthalten (Buchholz 1967, 216-218. 240-243), seien der Vollständigkeit halber erwähnt, obwohl diese Untersuchungen inzwischen wohl zu Recht angezweifelt werden (Craddock/Giumlia-Mair 1988, 320). Schließlich sei noch auf kaum nachprüfbare Hinweise auf Zinkanteile in Bronzen aus den Abakan- und Jenissej-Steppen aufmerksam gemacht (Buchholz 1967, 221).

Weitere Berichte (Çukur/Kunç 1989; Moorey/Schweizer 1972; Moorey/Schweizer 1974; Treister 1988; Treister 1990; Černych 1983; Černych 1992; Zwicker 1990; Atasoy/Buluç 1982) kennen in Westasien und in Südrussland bzw. in Armenien, Georgien oder Aserbeidschan keine Metallherstellung mit nennenswerten Zinkkonzentrationen.

Alle Fremdanalysen können unsere Einordnung der 18 sicheren Achsnagelanalysen und der 43 eher unsicheren Einzelanalysen nicht merklich stören. Da die Auswahl der zu untersuchenden Objekte einerseits zufällig (43 Einzelanalysen) war, andererseits aber eine geschlossene Gruppe (Achsnägel) umfasste, ist dieser Umstand bemerkenswert, selbst wenn man berücksichtigt, dass die urartäischen Legierungen A₁ und A₂ nur für jeweils zwei Achsnagelköpfe und zwei fremdanalyse Beschläge, die Legierung A₃ lediglich für 14 eigenanalyse und fünf fremdanalyse Gegenstände zutreffen.

LEGIERUNGEN

Die Legierung A₁, eine Kupferlegierung mit deutlichen Anteilen an Zinn, Blei, Arsen, Antimon, wenig Silber und dem bis dahin selten nachgewiesenen Zink, ist außergewöhnlich und bisher nur bei den zwei Achsnagelknöpfen O.39822/66 und 67 und in Einzelfällen bei Riederer (2002, 206-221) dokumentiert. Sie ist aber so exzentrisch, dass sie als Sonderfall geführt werden muss.

Die Legierung A₂, eine Kupferlegierung mit Zinn, Blei und Zink, enthält nur geringfügige Anteile an Arsen und Antimon sowie Spuren von Silber. Sie ist bei den Achsnagelknöpfen O.39778/84 und 421, bei vier Einzelanalysen (Tab. 2, Nr. 2-3. 11-12) unserer Untersuchung, aber auch bei einem Möbelbeschlag (Hughes / Curtis/Hall 1981, 142 Nr. 12) und bei einem Kandelaber (Merhav 1991a, 347) nachgewiesen.

Die Legierung A₃, eine Kupferlegierung mit Zinn und Zink ohne zu beachtende Anteile an Arsen, Antimon, Blei und Silber, bei unseren Untersuchungen 14-mal auftauchend (Tab. 2, außer Nr. 2-3. 11-12), aber auch von Meyer (1968), Hughes/Curtis/Hall (1981), Merhav (1991a, 347), Reindell/Riederer (2003, 205

¹¹ Pers. Mitt. M. Egg (Mainz) und L. Özen (Ankara).

Nr. 1.81.97) und Riederer (2002, 224-225) beschrieben, ist eine Legierung, wie sie auch bei phrygischen Bronzen vorkommen soll¹².

Die drei Legierungen A₁ bis A₃, deren charakteristisches Element der Zinkanteil ist, können weitgehend als urartäische Spezifika gelten. Die These, wonach die Anwesenheit von Zink in Kupferlegierungen eine Fälschung impliziert (Craddock/Giumlia-Mair 1988, 320), dürfte damit endgültig widerlegt sein.

Die Legierung B, wie die Legierungen A₁, A₂ und A₃ stark legiert (d. h. mit einem Kupfergehalt von deutlich < 90 %), kann als bleihaltige Zinnbronze mit Arsen- und Antimonanteil gelten – eine Bleibronze, die bei unseren Untersuchungen bei den beiden Achsnagelknöpfen O.39778/147 und 148 sowie mehrmals bei den Einzelanalysen (Tab. 1, 13. 17. 22-23), aber auch bei Riederer (2002, 225) bei einem Armreif auftaucht.

Die Legierung C, eine Zinnbronze mit Arsen und Antimon, bei den beiden Achsknöpfen O.39778/149 und 150, sonst auch bei Riederer (2002, 206-221) aus dem Luristan-Bereich vereinzelt nachgewiesen, ist u. a. in der Westtürkei und im südlichen Kaukasus (Pernicka 1995; Pernicka 1998; Selimchanow 1974; Esin 1969; Černych 1992) anzutreffen und nicht spezifisch urartäisch.

Die Legierung D₁, Zinnbronze ohne deutliche Nebenelemente, kommt bei den Achsnagelknöpfen O.39778/90, 152 und 420 sowie bei den Achsnagelstangen O.39778/84 und 421 vor und taucht urartäisch bei Hughes/Curtis/Hall (1981), Reindell/Riederer (2003) und bei Riederer (2002) auf. Sie ist schon lange Zeit in Westasien verbreitet (Pernicka 1998).

Die Legierung D₂ hat bei ähnlicher Zusammensetzung wie D₁ einen deutlich kleineren Zinnanteil. Bei unseren Analysen bestehen nur die fünf Achsnagelstangen O.39778/90, 152 und 420 sowie O.39822/66 und 67 aus dieser zinnsparenden Kupfer-Zinn-Legierung.

ERZE

Für die Herstellung der unterschiedlichen Legierungen musste der urartäische Metallhandwerker die verschiedensten Erze bzw. Metalle zur Verfügung haben, um die entsprechenden Zusammensetzungen zu erreichen:

- Zinnerz (Kassiterit) bzw. Zinnmetall
- Kupfererz, relativ rein
- Kupfererz mit Arsen (Antimon)
- Bleierz, silberhaltig
- Zinkerz (ohne oder mit wenig Bleianteil)
- Blei-Zink-Erz, silberhaltig

Beliebige Mischungen der genannten Erze sind zur Verhüttung ebenfalls einsetzbar.

Zinnerze (+ Zinn)

Die maßgebenden Arbeiten von de Jesus (1980, 51-56), Esin (1969, 107f.), Belli (1991, 24) und Pernicka (1998, 137f. 143) kommen übereinstimmend zu dem Schluss, dass im »östlichen Mittelmeerraum und in

¹² Pers. Mitt. M. Egg (Mainz) und L. Özen (Ankara).

Vorderasien, einschließlich des Kaukasus, keine Zinn-Lagerstätten im eigentlichen Sinne bekannt sind« (Pernicka 1998, 137). Sulimirski (1970) weist auf ein Kleinvorkommen in Süd-Ossetien hin, Crawford (1974, 243f.) auf eine größere Lagerstätte in Usbekistan nahe dem Aralsee. Černych (1992, 29f.) berichtet von Zinnvorkommen in Kasachstan und im Altai. Pernicka (1998, 143) nimmt an, dass das Zinn wahrscheinlich aus dem Osten importiert wurde, da nur Kleinstvorkommen in Westasien zu erwarten seien; eine Auffassung, die auch von Belli (1991, 24) unterstützt wird, wenn er eine Herkunft des Zinns aus Afghanistan erwartet. Eine Einfuhr als Erz (SnO_2 – Kassiterit) wird allgemein als wenig wahrscheinlich angesehen, da bereits in der mittleren Bronzezeit Schriftquellen vom Handel mit Zinnbarren berichten (Pernicka 1998, 138). Ein Import von metallischem Zinn muss nach der Lagerstättensituation vorausgesetzt werden. Die Klärung des Herkunftsproblems des Zinns ist nach wie vor die Preisfrage der Archäometallurgie (Pernicka 1998, 137-145).

Kupfererze

Kupfererze sind in Nord- und Nordostanatolien sehr verbreitet (de Jesus 1980; de Jesus 1981). Für die Herstellung von Kupferartefakten in Urtu kommen zunächst die Erze in den Provinzen Siirt, Diyarbakır und Elazığ, 50-200 km west- bis südwestlich des Vansees, also im urartäischen Zentralgebiet, in Betracht. Sowohl Seeliger u. a. (1985, 618f. 629. 633) und Belli (2001, 339-341) als auch Wagner u. a. (1986, 724 Abb. 1, 742 TG 175-184) berichten von Schlacken- und Kupferkonzentratfunden, die hier eine frühe Kupfermetallurgie vermuten lassen. Herausgehoben seien die Fundorte von Ergani Maden, Hedyogan und Madenköy. Diese und andere Fundstellen sind von de Jesus (1980; 1981) in seiner Gruppe 5 (Ergani) zusammengefasst worden (**Abb. 9**). Die Gruppe 4 nach de Jesus (Giresun-Trabzon), etwa 300 km nordwestlich des Vansees, zeigt ebenfalls eine Fülle von Kupferlagerstätten. Besonders zu nennen wären hier die Fundorte Kisabekir und Karadag mit riesigen Schlackenhalde und frühbronzezeitlicher Keramik (Wagner u. a. 1986, 742. 752). Die Gruppe 6 nach de Jesus (Murgul-Kuvarshan), etwa 250 km nördlich des Vansees nahe der georgischen Grenze, bietet in gleicher Weise viele Kupferlagerstätten. Besonders interessant ist hier Murgul Maden, wo eine Holzschaufel im Berg auf das frühe 1. Jahrtausend v. Chr. ^{14}C -datiert werden konnte (de Jesus 1980, 234)¹³. Neben diesen relativ nahen Fundstätten für Kupfer befinden sich weiter entfernt in der Türkei (**Abb. 9**), in Transkaukasien, im Zagros-Gebirge Nordwest-Irans (Pernicka 1995, 68f.) und in Armenien (Selimchanow 1974, 78) viele bekannte Vorkommen.

Kupfererze mit Arsen (Antimon)

Viele der oben genannten Kupfererze enthalten mehr oder weniger Arsen und in geringerem Maße Antimon. Da Kupfer, das aus einem arsenhaltigen Kupfererz gewonnen wurde, ein wesentlich günstigeres Verhalten beim Gießen zeigt, weiß der erfahrene Metallproduzent ein arsenhaltiges Erz und ein arsenfreies Erz sehr wohl zu unterscheiden: Erze mit höheren, auffälligen Arsenanteilen nennt Selimchanow für den Nord-Kaukasus und Aserbeidschan; er berichtet sogar von Arsenmineralien in Siedlungen (Selimchanow 1974, 45. 47. 54). Auch Kushnareva/Chubinshvili (1970) kennen arsenreiche Kupfererze im Kaukasus, während Zwicker (1990, 5f.) bei Norsun Tepe ein Kupfer-Antimon-Arsen-Erz fand, bei dem

¹³ Interessanterweise wird von einer Militäraktion zur Zeit Menuas in diesem Gebiet berichtet (Belli 2001, 341).

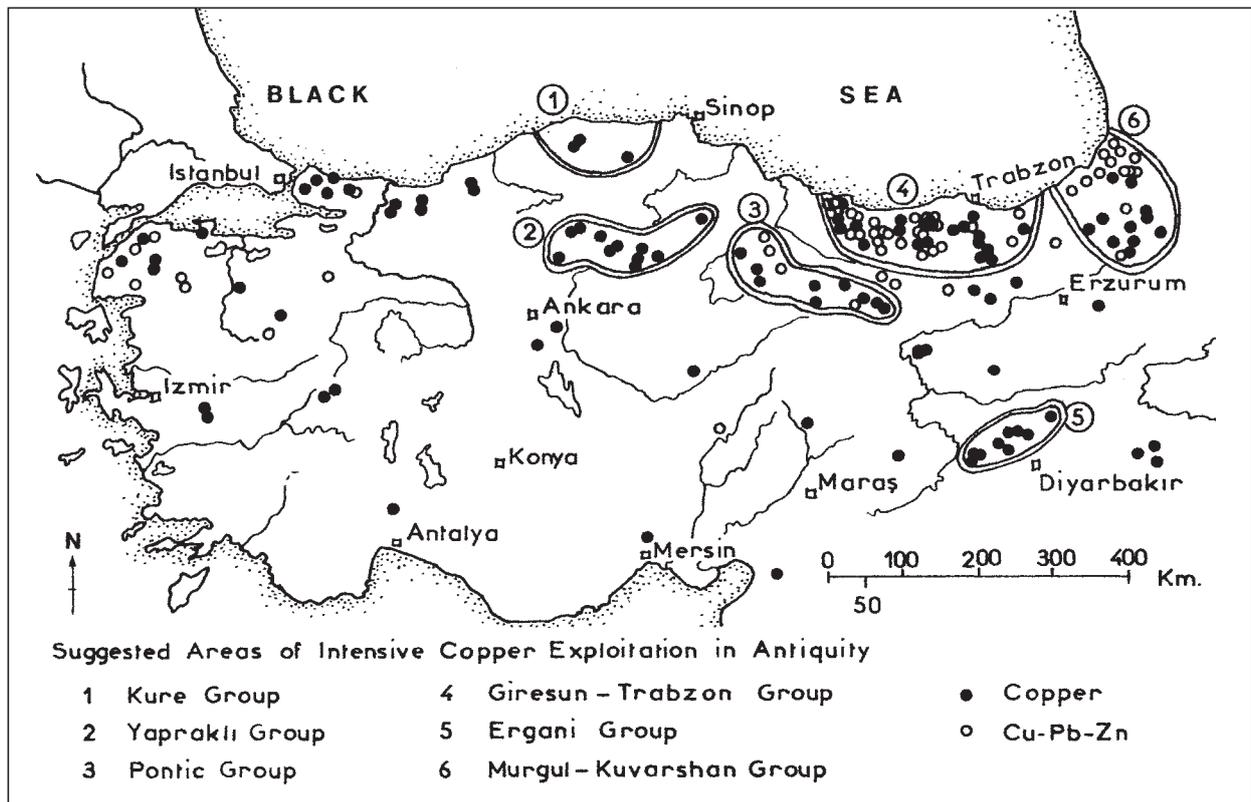


Abb. 9 Kupfer-Blei-Zink-Erze in der Türkei. – (Nach de Jesus 1981, Abb. 8).

Antimon überwiegt. Von einem solchen selteneren Vorkommen in Armenien und Georgien berichtet auch Selimchanow (1974, 78). Schließlich weist de Jesus (1980, 90-93; 1981, Abb. 4) darauf hin, dass auch im nordostanatolischen Bereich (Gruppe 6) bei Pitkir, Zirnik und Kuvarshan Arsenerze mit Kupfererzen vergesellschaftet sind.

Metallisches Arsen und Antimon treten in der Natur auch als Metall auf. Eine Verwendung in der Metallurgie kann ausgeschlossen werden, da das sogenannte gediegene Arsen (Antimon) sehr selten und nur in Gramm-Mengen auftritt.

Kupfererze mit Blei und Zink

Die oben genannten Kupfererze der Gruppen 4 und 6 nach de Jesus (Abb. 9) enthalten häufig auch Blei und Zink (nicht aber die südliche Gruppe 5). Dies wird bestätigt durch Untersuchungen von Wagner u. a. (1986, 724, 737, 742), Moorey (1964, 78f.), Pernicka (1995, 68 Abb. 17) und Forbes (1950, 274-276), wobei letzterer zusammen mit Hodges (1964) auch im Kaukasus (Kara Dagh) und in Georgien solche Erzkombinationen anführt. Bemerkenswert erscheinen hier auch die anatolischen Kupfer-Blei-Zink-Vorkommen in Kuvarshan, die weniger Blei als Zink enthalten (de Jesus 1980, 235). Schließlich berichten Wagner u. a. (1983/1984, 72) von Erzkonglomeraten in Nordwestanatolien, die Kupfer, Zink und Arsen beinhalten.

Blei-Zink-Erze

Die Kombination von Zinkblende und Bleiglanz, die auch mit Kupfererzen gemeinsam auftreten kann, ist relativ häufig in den Regionen der Gruppe 6 nach de Jesus (**Abb. 9**) anzutreffen. Besonders ist auf jene Lagerstätten hinzuweisen, bei denen der Zinkgehalt jenen des Bleis übertrifft: Kuvarshan (de Jesus 1980, Nr. 77) und Yukarı Kutunit (de Jesus 1980, Nr. 144, silberhaltig). Aber auch in Deri (Nr. 162) sowie in Pirajman (Nr. 168), beide Gruppe 5 (**Abb. 9**), und häufig in der nicht sehr weit entfernten Provinz Giresun (**Abb. 9**, Gruppe 4) finden sich solche Erze.

Die Konzentrationsverhältnisse Zink/Blei können sehr stark variieren (Wagner u. a. 1986, 737; Wagner u. a. 1983/1984, 47-55; Werner 1981, 128f.) – reine Zink- oder Bleierze sind in dem hier betrachteten Gebiet relativ selten. Mischvorkommen von Kupfererz mit Zinkblende oder Bleiglanz sind dagegen in der Provinz Artvin an der Nordgrenze der Türkei zu Georgien häufig (**Abb. 9**, Gruppe 6).

Zusätze von metallischem Zink sind nicht vorstellbar, da Zink nur mit großen technischen Schwierigkeiten herzustellen ist.

LEGIERUNGEN UND ERZE

Wenn man die Legierungen A₁ bis D₂ mit den aus der Lagerstättenkunde bekannten Erzen aus der Region Urartu und ihrer Nachbarschaft vergleicht, könnte man eine Herstellung bzw. Verhüttung vor Ort ableiten. Mit Ausnahme des metallischen Zinns, dessen Import vorausgesetzt wird (Pernicka 1998, 143) – trotz der riesigen Mengen, die über große Strecken transportiert worden sein müssen (109t Bronze allein in Musasir; Mayer 1993) –, können alle Ausgangsprodukte für die Metallherstellung aus einheimischen Quellen stammen:

Die Legierung A₁ (Normwerte: Sn 7, As 3, Sb 0,3, Pb 3, Zn 2, Ag 0,1, Cu 83) ist aus Zinn mit einem deutlich arsen-antimonhaltigen Kupfererz sowie einem Blei-Zink-Erz, das etwas Silber enthielt, herzustellen.

Die Legierung A₂ (Normwerte: Sn 12, As 0,3, Sb 0,3, Pb 3, Zn 2, Ag 0,1, Cu 82) kann aus Zinn mit einem relativ reinen Kupfererz und einem Blei-Zink-Erz gewonnen werden.

Die Legierung A₃ (Normwerte: Sn 10, As 0,2, Sb 0,1, Pb 0,3, Zn 2-8, Ag 0,05, Cu 84) wurde aus Zinn, einem Kupfererz ohne merkbare Arsen- und Antimonanteile und einem Zinkerz, das nur einen geringen Bleigehalt aufwies, produziert.

Für alle drei Legierungen A₁ bis A₃, die als urartäische Spezifika gelten können, sind die notwendigen Erze im Kerngebiet Urartus oder in erreichbarer Nähe nachgewiesen.

Die Legierung B (Normwerte: Sn 9, As 2, Sb 1,5, Pb 2, Zn 0,1, Ag 0,3, Cu 85) sollte einer Verhüttung eines arsen-antimonhaltigen Kupfererzes mit einem silberhaltigen Bleierz (ohne oder mit sehr wenig Zink) zu verdanken sein (+ metallisches Zinn). Selbstverständlich ist auch die Verhüttung eines kombinierten Kupfer-Blei-Erzes mit geringen Beimengungen von Arsen, Antimon und Silber möglich.

Die Legierung C (Normwerte: Sn 7, As 1,5, Sb 0,5, Pb 0,4, Zn 0,1, Ag 0,1, Cu 90) wurde wohl aus Zinn mit einem arsen- und antimonhaltigen Kupfererz gewonnen¹⁴.

¹⁴ Bei der Verhüttung von Zinn und Kupfererzen, die arsen- bzw. antimonhaltig sind, entstehen sozusagen »natürliche« Arsenbronzen. Eine Zugabe von Realgar, Auripigment oder Antimonit, reinen Arsen- bzw. Antimon-Mineralien, wie sie z. B. Selim-

chanow (1974, 54) anspricht, ist schon wegen der Seltenheit dieser Mineralien in Relation zur Menge aller Arsenbronzen auszuschließen.

Zusammensetzung	Erz (+ Zinn)	
A ₁	Cu-Sn-As(Sb)-Pb-Zn-(Ag)	(As, Sb) Kupfererz + silberhaltiges Blei-Zink-Erz
A ₂	Cu-Sn- Pb-Zn	Kupfererz + Blei-Zink-Erz
A ₃	Cu-Sn- Zn	Kupfererz + Zink-Erz
B	Cu-Sn-As(Sb)-Pb- (Ag)	(As,Sb) Kupfererz + silberhaltiges Bleierz
C	Cu-Sn-As(Sb)	(As,Sb) Kupfererz
D ₁	Cu-Sn-	Kupfererz
D ₂	Cu-(Sn)-	Kupfererz

Tab. 18 Legierungen und ihre Verhüttungserze.

Die Legierung D₁ (Normwerte: Sn 10, As 0,2, Sb 0,2, Pb 0,5, Zn 0,2, Ag 0,1, Cu 89) stammt von einem kaum arsen- und antimonhaltigen Kupfererz mit Zinn.

Die Legierung D₂ (Normwerte: Sn 1-5, As 0,5, Sb 0,2, Pb 0,2, Zn 0,2, Ag 0,1, Cu 94-98) wurde aus sehr wenig Zinn und einem gleichfalls kaum arsen-antimonhaltigen Kupfererz gewonnen. Der geringe Zinngehalt ist entweder darauf zurückzuführen, dass man am teuer importierten Zinn gespart hat, oder man hat für die Achsnagelstangen Bronzealtmaterial mit Hüttenkupfer zusammengeschmolzen – eine Legierung, die man besser schmiedete als gießen konnte.

Die Legierungen B bis D₂ sind nicht spezifisch urartäisch.

Die hypothetische Annahme der gemeinsamen Verhüttung von zwei Erzen, unter gleichzeitiger oder sich anschließender Zugabe von metallischem Zinn, hat eine starke Plausibilität. Wenn man bisher der Ansicht war, dass bei der Herstellung von Zinnbronze zunächst aus Kupfererzen durch Verhüttung metallisches Kupfer (oder eine unbeabsichtigte Legierung von Kupfer mit Arsen = »Arsenbronze«) gewonnen und anschließend mit importiertem Zinn legiert wurde, so kann dem auch eine gemeinsame Verhüttung von zwei Erzen vorausgegangen sein. Stellt man sich jedoch die Produktion so vor, dass man das Kupfererz mit Zinnerz (Kassiterit) gemeinsam verhüttet hat, so wäre eine Herstellung aus zwei Erzen mit einem dritten genauso denkbar. Der Einwand, dass dann eine Qualitäts- bzw. Eigenschaftskontrolle des entstehenden Produkts nicht mehr möglich wäre (Pernicka 1998, 136), erscheint bei einem solchen relativ komplizierten Prozess nicht weiter gravierend, da die Erfahrung und das Gefühl des Metallhandwerkers hierbei sicherlich überwogen hat. Man darf davon ausgehen, dass bei der Verhüttung keine hochprozentigen oder gar reinen Erze zur Verfügung standen. Dementsprechend kann man auch voraussetzen, dass der prähistorische Produzent bei Verwendung eines graduell andersartigen Erzes oder bei einer Mischung mit einem anderen Erz die zu erwartenden Materialeigenschaften in einem erstaunlichen Ausmaß voraussagen konnte¹⁵.

FAZIT

Aus zwei urartäischen Komplexen wurden 43 Gegenstände jeweils an einem Messpunkt analysiert. Elf Achsnägel wurden vorgestellt und eingehend untersucht. Die große Varianz der insgesamt 81 quantitativen Bestimmungen an den Achsnägeln wurde durch eine statistische Fehlerrechnung erklärt. Es wurde nachgewiesen, dass die Heterogenität einer patinierten Oberfläche von Kupferlegierungen ein Analysen-

¹⁵ Der Ansicht von Gale u. a. (1985, 155), »alle Legierungen bis 7 % As, 4-5 % Pb und 1-3 % Sn sind zufällig und nur vom Erz abhängig«, kann daher nicht zugestimmt werden.

ergebnis, das nur von einem Punkt eines Objekts stammt, illusorisch werden lässt bzw. dass es lediglich als qualitativer Anhaltspunkt gewertet werden kann. Für eine quantitative Beurteilung einer patinierten Kupferlegierung sind immer mehrere Bestimmungen an verschiedenen Punkten des zu analysierenden Exemplars notwendig. Bei der Bewertung der erhaltenen Resultate ist außerdem die differenzierte, korrosive Beeinflussung der unterschiedlichen Legierungselemente zu berücksichtigen. Ein solches Ergebnis der Metallanalyse kann dann nur noch eine Annäherung sein, die jedoch wertvoller für die Erkenntnis sein wird als eine exakte Angabe, die lediglich für einen zufälligen Punkt des patinierten Objekts gilt.

Aus den so erhaltenen Einsichten wurden – auch unter Einbeziehung der in der Literatur publizierten analytischen Ergebnisse – die folgenden Schlüsse gezogen:

Die urartäische Metallurgie hat spezifische Eigenheiten; es wurden drei Legierungstypen A₁ bis A₃ entwickelt, deren Besonderheit in der Anwesenheit von bis zu 8 % Zink in den Kupferlegierungen besteht. Auch solche Kupferlegierungen, die eher dem allseits verbreiteten Bronzeschema entsprechen – die hier bezeichneten Legierungen B, C, D₁ und D₂ (Bleibronze, Bronze mit und ohne Arsen-Antimon, niedriglegierte Kupferlegierung mit wenig Zinn) –, enthalten häufig geringe Zinkgehalte, die in der zeitlichen oder räumlichen Nähe sonst fast nie auftreten.

Für besondere Zwecke hat der urartäische Metallhandwerker oft spezielle Legierungen ausgewählt: Die Stangen der Achsnägel sind z. B. immer aus einem anderen Metall als die Knöpfe – außerdem sind sie auch besonders niedriglegiert. Genauso sind Möbelbeschlagteile aus Legierungen mit Zink, Gefäße aber aus einer Bronze ohne Zink hergestellt¹⁶.

Obwohl dem Kupfer in fast allen Fällen ausreichend Zinn zulegiert wurde, um eine gute Verarbeitbarkeit zu gewährleisten, sind die Arsen- bzw. Antimongehalte relativ hoch, was, metallurgisch nicht notwendig, wohl mit der Verfügbarkeit der Abbauerze zu erklären ist.

Urartäische Legierungen heben sich von den Kupferlegierungen ihrer Umwelt auch dadurch ab, dass sie oft stark legiert sind, also nicht nur Zinn, sondern auch Arsen, Antimon, Blei und Zink enthalten. Für die häufige Anwesenheit des Zinks lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Verwendung einheimischer Erze annehmen.

Die Vielzahl der bekannten Lagerstätten der Kupfer, Arsen, Antimon, Blei und Zink enthaltenden Erze im östlichen Anatolien zusammen mit der offensichtlichen Experimentierfreude und Geschicklichkeit der urartäischen Metallhandwerker begründete die »Wiege der Metallurgie« des Nahen Ostens im urartäischen Reich. Ein dringendes Desiderat für die verbesserte Beurteilung der Metallurgie Anatoliens wären analytische Untersuchungen des phrygischen und assyrischen Fundguts.

¹⁶ Dies lässt sich auf verschiedene Weise interpretieren: Entweder kannte der Metallhandwerker die Eigenschaften der beiden Legierungsarten und verwendete die jeweils metallurgisch günstigste Sorte. Oder es wurden Möbelteile nur an einem Ort her-

gestellt, wo man eine zinkhaltige Kupferlegierung aus dem dort verfügbaren zinkhaltigen Erz gewonnen hatte, während man Gefäße an einem anderen Ort mit Kupferlegierung ohne Zink (aus einem anderen Erz) produzierte.

LITERATUR

- Ankner 1996: D. Ankner, Die Metall-Legierung des spätkeltischen Ebers von Soulac-sur-Mer: Eine besondere Art der Bronze Korrosion im Boden. *Arch. Korrb.* 26, 1996, 457-461.
- 1998: D. Ankner, Korrosion von Kupferlegierungen im Boden und ihre Bewertung. *Arch. Korrb.* 28, 1998, 151-161.
- 1999: D. Ankner, Analiza Bronze Zdjelaste kazige iz Tumula. In: *Ž. Škoberne, Budinjak Kneževski Tumul (Zagreb 1999)* 139.
- Atasoy/Buluç 1982: E. Atasoy / S. Buluç, Metallurgical and Archaeological Examination of Phrygian Objects. *Anatolian Stud.* 32, 1982, 157-160.
- Belli 1991: O. Belli, Ore Deposits and Mining in Eastern Anatolia in the Urartian Period: Silver, Copper and Iron. In: *Merhav 1991a*, 16-30.
- 2001: O. Belli, The Greatest Metalworking Kingdom of the Ancient World: Urartu. In: O. Belli (Hrsg.), *Istanbul University's Contributions to Archaeology in Turkey (1932-2000) (Istanbul 2001)* 338-345.
- Buchholz 1967: H.-G. Buchholz, Analysen prähistorischer Metallfunde aus Zypern und den Nachbarländern. *Berliner Jahrb. Vor- u. Frühgesch.* 7, 1967, 189-256.
- Černych 1983: E. N. Černych, Frühmetallurgische Kontakte in Eurasien. *Beitr. Allg. u. Vergleichende Arch.* 5, 1983, 19-34.
- 1992: E. N. Černych, *Ancient Metallurgy in the USSR. The Early Metal Age (Cambridge 1992)*.
- Clausing 2001: Ch. Clausing, Ein neuer Achsnagel der Urnenfelderzeit. *Arch. Korrb.* 31, 2001, 543-559.
- Craddock/Giumlia-Mair 1988: P. Craddock / A. Giumlia-Mair, Problems and Possibilities for Provenancing Bronzes by Chemical Composition. In: J. Curtis (Hrsg.), *Bronzeworking Centres of Western Asia c. 1000-539 B.C. (London 1988)* 317-327.
- Crawford 1974: H. E. W. Crawford, The Problem of Tin in Mesopotamian Bronzes. *World Arch.* 6, 1974, 242-247.
- Çukur/Kunç 1989: A. Çukur / Ş. Kunç, Analyses of Tepecik and Tülintepe Metal Artifacts. *Anatolian Stud.* 39, 1989, 113-120.
- Dies 1967: K. Dies, *Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik (Berlin 1967)*.
- Egg/Pare 1995: M. Egg / Ch. Pare, Die Metallzeiten in Europa und im Vorderen Orient. Die Abteilung Vorgeschichte im Römisch-Germanischen Zentralmuseum. *Kat. Vor- u. Frühgesch. Alt.* 26 (Mainz 1995) 126-134.
- Esin 1969: U. Esin, Kuantitatif Spektral Analiz Yardımıyla Anadolu'da Başlangıcından Asur kolonileri çağına kadar bakır ve tunç madenciligi (Istanbul 1969).
- Forbes 1950: R. J. Forbes, *Metallurgy in Antiquity. A Notebook for Archaeologists and Technologists (Leiden 1950)*.
- Gale/Stos-Gale/Gilmore 1985: N. H. Gale / Z. A. Stos-Gale / G. R. Gilmore, Alloy Types and Copper Sources of Anatolian Copper Alloy Artifacts. *Anatolian Stud.* 35, 1985, 143-173.
- Geilmann 1956: W. Geilmann, Verwitterung von Bronzen im Sandboden. *Angewandte Chemie* 68, 1956, 201-211.
- Hodges 1964: H. Hodges, *Artifacts. An introduction to early materials and technology (London 1964)* 64-79.
- Hughes/Curtis/Hall 1981: M. J. Hughes / J. E. Curtis / E. T. Hall, Analyses of some Urartian Bronzes. *Anatolian Stud.* 31, 1981, 141-145.
- Hughes u. a. 1988: M. J. Hughes / J. R. S. Lang / M. N. Leese / J. E. Curtis, The evidence of scientific Analysis: A case study of the Nimrud bowls. In: J. Curtis (Hrsg.), *Bronzeworking Centres of Western Asia c. 1000-539 B.C. (London 1988)* 311-315.
- de Jesus 1980: P. S. de Jesus, *The Development of Prehistoric Mining and Metallurgy in Anatolia. BAR Internat. Ser. 74 (Oxford 1980)*.
- 1981: P. S. de Jesus, A Survey of some Ancient Mines and Smelting Sites in Turkey. *Arch. u. Naturwiss.* 2, 1981, 95-105.
- Kroll 1976: S. Kroll, Zur Vorgeschichte Transkaukasiens. In: H.-J. Kellner (Hrsg.), *Urartu – Ein wiederentdeckter Rivale Assyriens [Ausstellungskat.] (München 1976)* 25-27.
- Kushnareva/Chubinishvili 1970: K. Kh. Kushnareva / T. N. Chubinishvili, *Drevnye kultury Yuzhnogo Kavkaza (Leningrad 1970)*.
- Mayer 1983: W. Mayer, Sargons Feldzug gegen Urartu 714 v. Chr., Text und Übersetzung. *Mitt. Dt. Orient-Ges.* 115, 1983, 65-132.
- Meyer 1968: G. R. Meyer, Bemerkungen zu einigen urartäischen Bronzen aus Toprak-Kale. In: E. Gräf (Hrsg.), *Festschrift Werner Caskel zum 70. Geburtstag, 5. März 1966 (Leiden 1968)* 208-223.
- Merhav 1991a: R. Merhav (Hrsg.), *Urartu – A Metalworking Center in the first Millennium B.C.E. [Ausstellungskat.] (Jerusalem 1991)*.
- 1991b: R. Merhav, Preface and Acknowledgement. In: *Merhav 1991a*, X-XII.
- 1991c: R. Merhav, Chariot and Horse Fittings. In: *Merhav 1991a*, 53-78 bes. 60-61 Abb. 7.1-4; 66 Nr. 5-8; 67 Nr. 13.
- Moorey 1964: P. R. S. Moorey, An Interim Report of some Analyses of »Luristan Bronzes«. *Archaeometry* 7, 1964, 72-80.
- Moorey/Schweizer 1972: P. R. S. Moorey / F. Schweizer, Copper and Copper Alloys in Ancient Iraq, Syria and Palestine: Some new Analyses. *Archaeometry* 14, 1972, 177-198.
- 1974: P. R. S. Moorey / F. Schweizer, Copper and Copper Alloys in Ancient Turkey: Some new Analyses. *Archaeometry* 16, 1974, 112-115.

- Müller-Karpe 1998: Reallexikon der Assyriologie und Vorderasiatischen Archäologie (1998) 79-80 s.v. Nagel (M. Müller-Karpe).
- Pernicka 1995: E. Pernicka, Gewinnung und Verbreitung der Metalle in prähistorischer Zeit. *Jahrb. RGZM* 37, 1990 (1995), 21-129.
- 1998: E. Pernicka, Die Ausbreitung der Zinnbronze im 3. Jahrtausend. In: B. Hänsel (Hrsg.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas* (Kiel 1998) 135-147.
- Reindell/Riederer 2003: I. Reindell / J. Riederer, The Urartian Bronzes of Ayanis (Turkey). *First Metal Analyses. Studi Micenei ed Egeo-Anatolici* 45/2, 2003, 203-207.
- Riederer 2002: J. Riederer, Die Berliner Datenbank von Metallanalysen kulturgeschichtlicher Objekte. IV. Objekte der mitteleuropäischen Bronzezeit sowie etruskische, sardische, griechische, ägyptische und vorderasiatische Objekte. *Berliner Beitr. Archäometrie* 19, 2002, 72-226.
- Salvini 1991: M. Salvini, Historical Introduction. In: Merhav 1991a, 4-13.
- Seeliger u. a. 1985: Th. Seeliger / E. Pernicka / G. Wagner / F. Bege-
mann / S. Schmitt-Strecker / C. Eibner / Ö. Öztunali / J. Baranyi,
Archäometallurgische Untersuchungen in Nord- und Ostanatolien. *Jahrb. RGZM* 32, 1985, 597-659.
- Seidl 2004: U. Seidl, *Bronzekunst Urartus* (Mainz 2004).
- Selimchanow 1974: I. R. Selimchanow, *Enträtselte Geheimnisse der alten Bronzen* (Berlin 1974).
- Sulimirski 1970: T. Sulimirski, *Prehistoric Russia. An outline* (London 1970) 362.
- Treister 1988: M. Ju. Treister, Bronzeworking in Bosphorus according to results of spectral analyses. *Berliner Beitr. Archäometrie* 10, 1988, 21-79.
- 1990: M. Ju. Treister, About the early Production of metallic Zinc in Parthia. *Bull. Metals Mus. Japan Inst. Metals* 15, 1990, 33-40.
- Wagner u. a. 1983/1984: G. A. Wagner / E. Pernicka / Th. C. Seeliger / F. Bege-
mann / S. Schmitt-Strecker / Ö. Öztunali, Geologi-
sche Untersuchungen zur frühen Metallurgie in NW-Anatolien. *Bull. Mineral Research and Exploration Inst. Turkey* 101-102, 1983/1984, 45-81.
- Wagner u. a. 1986: G. A. Wagner / E. Pernicka / Th. C. Seeliger / I. Lorenz / F. Bege-
mann / S. Schmitt-Strecker / C. Eibner / Ö. Öztunali, Geochemische und isotopische Charakteristika früher Rohstoffquellen für Kupfer, Blei, Silber und Gold in der Türkei. *Jahrb. RGZM* 33, 1986, 723-752.
- Wartke 1990: R.-B. Wartke, *Toprakkale: Untersuchungen zu den Metallobjekten im Vorderasiatischen Museum zu Berlin. Schr. Gesch. u. Kultur Alter Orient* 22 (Berlin 1990).
- 1993: R.-B. Wartke, *Urartu – Das Reich am Ararat. Kulturgesch. Ant. Welt* 59 (Mainz 1993).
- Werner 1981: O. Werner, Analysen mittelalterlicher Bronzen und Messinge I-III. *Arch. u. Naturwiss. II-III* (Mainz 1981) 106-170.
- Zwicker 1990: U. Zwicker, *Archaeometallurgical Investigation on the Copper- and Copper-Alloy-Production in the Area of the Mediterranean Sea (7000-1000 B.C.)*. *Bull. Metals Mus. Japan Inst. Metals* 15, 1990, 3-32.

ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT / RÉSUMÉ

Urartäische Achsnägel, urartäische Kupferlegierungen. Zur Analytik korrodierter »Bronzen«

Aus zwei urartäischen Tempelschätzen des 9./8. Jahrhunderts v. Chr. wurden 43 vermeintliche »Bronzen« an einem Messpunkt analysiert. Es traten nicht zu erwartende Zinkanteile bis zu 8 % auf, weitere elf Achsnägel wiesen partiell Zink auf. Analysen an mehreren Messpunkten korrodierter Objekte führten zu deutlich verschiedenen Ergebnissen – bei Untersuchungen an korrodierten Oberflächen sind immer nur angenäherte Resultate zu erwarten. Der urartäische Handwerker verwendete für besondere Zwecke häufig spezielle Legierungen. So enthalten Möbelbauteile fast immer Zink, Gefäße hingegen nicht. Urartäische Kupferlegierungen sind häufig stark legiert: Neben dem üblichen Zinn treten oft Arsen und Antimon sowie das »neue« Zink auf. Die Legierungen werden in Bezug gesetzt zu den im östlichen Anatolien vorkommenden Kupfererzen. Eine erstaunliche Experimentierfreude und Geschicklichkeit der urartäischen Metallurgen fällt ins Auge.

Urartian linchpins, Urartian copper alloys. Considering the analysis of corroded »bronze« finds

43 presumed »bronze« finds from two Urartian temple treasures of the 9th/8th century BC were analysed from one point of measurement. Unexpectedly, proportions of up to 8 % zinc were found, a further eleven linchpins contained zinc in part. Moreover, analyses of several measurements on a single corroded object led to plainly different results. Thus, investigations of corroded finds always yield only approximate results. The Urartian craftsmen often used special alloys for particular purposes. Thus, parts of furniture almost always contain zinc, vessels on the other hand do not. Urartian copper alloys are often very mixed: apart from the usual tin, there often occur arsenic and antimony, as well as the »new« zinc. The alloys correspond to the copper-ores occurring in eastern Anatolia. One can recognize an amazing enthusiasm for experimentation and skill on the part of the Urartian metal-workers.

Translation: C. Bridger

Esses urartéennes, alliages de cuivre urartéens. Sur la composition analytique de »bronzes« corrodés

43 objets en »bronze« provenant de deux trésors appartenant à des temples des 9^e et 8^e siècles av. J.-C. furent analysés en un point précis. Les taux de zinc pouvant atteindre 8 % ne furent pas constatés. Onze autres esses contenaient du zinc partiellement. En outre, des analyses effectuées en plusieurs points sur un objet corrodé ont livré de tout autres résultats. Les analyses d'objets corrodés ne donnent ainsi que des résultats approximatifs. L'artisan urartéen utilisait souvent des alliages spéciaux à des fins particulières. Les pièces de meubles contiennent presque toujours du zinc, les récipients par contre pas. Les cuivres présentent souvent un pourcentage d'alliage élevé: en plus de l'étain habituel, il peut y avoir de l'arsenic, de l'antimoine ainsi que du »nouveau« zinc. Les alliages sont également comparés aux minerais de cuivre de l'Anatolie orientale. On constate tout de suite une joie d'expérimenter et une habileté étonnante chez les métallurges urartéens.

Traduction: Y. Gautier

