

Zur Herkunft sardischer Unterwasser-Bleifunde

Friedrich Begemann und Sigrid Schmitt-Strecker

Einleitung

In zunehmendem Maße werden heute modernste naturwissenschaftliche Methoden eingesetzt, archäologische Objekte "zum Reden zu bringen" und Informationen über ihre Herkunft und/oder Herstellungsweise zu erhalten, die die Ergebnisse stilistischer Studien ergänzen oder – wenn stilistische Methoden versagen – diese gar völlig ersetzen. Handelt es sich bei den archäologischen Artefakten um Nicht-Eisen-Metalle, so ist eine der vielversprechendsten Methoden die Messung der isotopischen Zusammensetzung des in all diesen Metallen zumindest in Spuren vorhandenen Bleis. Trivialerweise bieten sich insbesondere Bleiobjekte für solche Untersuchungen an.

Wie bei Artefakten typologische Übereinstimmungen genutzt werden, die Herkunft von Objekten zu bestimmen oder kulturelle Querverbindungen aufzuzeigen, so geht es bei Herkunftsstudien mit Hilfe der Isotopenanalyse des Bleis um den Vergleich einer Artefakteigenschaft mit der von Erzen, und zwar konkret um einen Vergleich des isotopischen Fingerabdrucks von Artefakten mit dem von Erzlagerstätten. Dabei ist die Tatsache von entscheidender Bedeutung, dass die isotopische Signatur auf dem Weg vom Erz zum Metall und schließlich zum Artefakt nur in

nicht-signifikanter Weise verändert wird; alle physikalischen und chemischen Vorgänge auf dem langen Weg vom Erz zum Artefakt ändern die isotopische Zusammensetzung des Bleis nicht, ganz im Gegensatz etwa zum Häufigkeitsmuster von Spurenelementen, das auf diesem langen Weg in mannigfacher Weise verändert werden kann.

Zur Quantifizierung des isotopischen Fingerabdrucks verwendet man bei derartigen Untersuchungen die relativen Häufigkeiten der vier stabilen Atomkernarten des Bleis, der vier stabilen Isotope, mit den Massenzahlen 204, 206, 207 und 208. Zur vollständigen Beschreibung der vier relativen Häufigkeiten sind drei unabhängige Häufigkeitsverhältnisse nötig. Welche Verhältnisse gewählt werden, ist in gewisser Weise willkürlich; in der Archäometallurgie haben sich die auf ^{206}Pb bezogenen Häufigkeitsverhältnisse $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ eingebürgert.

Untersuchte Objekte

Wir haben neun massive Bleiobjekte untersucht; sie sind im vorhergehenden Beitrag von P. Winterstein genauer vorgestellt. Deren acht wurden in den Jahren 1963-65 bzw. 1971-72 von Walter Weyand aus 12-18 Metern Wassertiefe vor Pula, dem phönizischen Nora, im Golf von Cagliari an der Südküste Sardinien ge-

borgen; ein Bleiring stammt vom Capo Spartivento im äußersten Süden Sardinien (Tabelle 1). Im Einzelnen handelt es sich um vier Ankerstöcke (drei davon mit einer Querverbindung im Schaftkasten), zwei Verbindungsstücke für die Positionierung und Halterung der Ankerarme (Abb. 1), zwei Senklote und einen Bleiring, wie er möglicherweise verwendet wurde, am Grunde verhakte Ankertaue wieder frei zu machen (s. z.B. Höckmann 1994, p. 66, Paffgen und Zanier 1994, Abb. 37).

Die Objekte rühren vermutlich nicht von einem Schiffsuntergang her, sondern gingen an einem antiken Ankerplatz zu verschiedenen Zeiten von verschiedenen Schiffen verloren. Die geringe Größe der Ankerteile spricht dafür, dass sie zu nur kleinen Schiffen gehörten, wie sie für küstennahen Fischfang oder Gütertransport verwendet worden sein mögen. Ein bei Mahdia vor der Ostküste Tunesiens gesunkenes Frachtschiff von etwa 40 Metern Länge (Höckmann 1994) führte z.B. mehrere Anker mit sich, deren Bleiankerstöcke mit je etwa 650 kg Gewicht mindestens zehnmal schwerer waren als der schwerste Ankerstock aus unserer Suite. Auch wenn nach der bisherigen Quellenlage keine eindeutige Beziehung bestehen mag zwischen Zahl und Gewicht der Anker einerseits und Schiffsgröße bzw. Tonnage

andererseits (Gelsdorf 1994), so erscheint es doch wenig plausibel, dass größere Schiffe durch Anker von nur wenigen zehn Kilogramm Gewicht gesichert worden sein sollen.

Fundlage sowie die jeweilige Form und Größe von Schaftkasten des Ankerstocks und mittlerer Hohlung der Verbindungsstücke sprechen dafür, dass es sich bei dem Ankerstock Nr. 602 und dem Verbindungsstück Nr. 603 sowie dem Paar Nr. 604 und Nr. 605 jeweils um zwei Teile ein und desselben Ankers handelt (s. P. Winterstein im vorhergehenden Beitrag). Eine genaue Datierung der Fundobjekte auf Grund einer Typenchronologie ist nicht möglich; ebenso fehlen datierbare Beifunde wie Keramik oder Keramikscherben sowie mit Hilfe der Radiokohlenstoffmethode datierbare Holzreste. Oleson (2000) hat das Senklot Nr. 606 veröffentlicht (Fig. 8, No. 123). Er klassifiziert es als *Class 6, Truncated cone, Age uncertain*.

Ergebnisse

Chemisch handelt es sich bei den Objekten um etwa 99 % reines Blei (**Tabelle 2**). Die größten Fremdbeimengungen sind bei drei Proben (Nr. 603, 606, 607) etwa 1 % Zinn und bei einer Probe (Nr. 600) je etwa ein halbes Prozent Arsen und Antimon. Heute werden Zinn und Antimon dem Blei zugegeben, um seine Härte und Fließfähigkeit zu erhöhen ("Letternmetall"); die hier in den sardischen Bleiprobe gefundenen Konzentrationen sind jedoch zu klein, als dass sie einen merklichen Einfluss z.B. auf die Härte hätten. Es dürfte sich bei beiden Elementen, genau wie auch bei dem Arsen des einen Ankerstocks (Nr. 600), um zufällige Beimischungen handeln (s. unten).

Die Silbergehalte aller Proben liegen unter 0,015 %; es handelt sich in allen Fällen mit ziemlicher Sicherheit um entsilbertes Blei. Da seit der Bronzezeit der Abbau

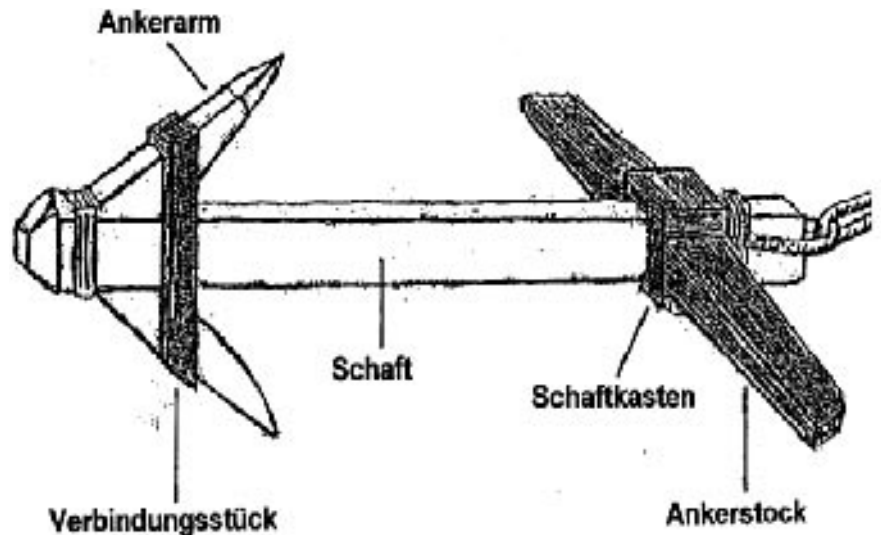


Abb. 1: Hellenistischer zweiarmiger Holzanker mit bleiernem Ankerstock und bleiernem Verbindungsstück der Holzarme (nach G. Kapitän 1995).

von Bleierzen primär auf die Gewinnung des darin enthaltenen Silbers gerichtet war, überrascht dieser Befund nicht. Auf den ersten Blick überraschend sind vielmehr vielleicht die unterschiedlichen Spurenelementgehalte der beiden Proben des Senklots Nr.

606. Die Probe vom unteren Rand (Nr. 606A) enthält etwa viermal so viel Zinn und doppelt so viel Arsen und Silber wie die Probe Nr. 606B von einer der inneren Verstärkungsrippen etwa acht Zentimeter über dem unteren Rand. Wir kommen gleich darauf

Probennummer	Objekt	Gewicht [kg]
600	Ankerstock*, Bohrprobe	63,0
600 A	Kruste	-
601	Ankerstock**	20,6
602	Ankerstock*	36,5
603	Verbindungsstück	6,5
604	Ankerstock*	9,5
605	Verbindungsstück	3,5
606 A	Senklot, unterer Rand	12,5
606 B	Verstärkungsrippe	-
607	Ring	20,4
608	Senklot	4,1

* Mit Querverbindung im Schaftkasten

** Ohne Querverbindung im Schaftkasten

Tab. 1: Zusammenstellung der hier analysierten sardischen Unterwasser-Bleifunde. Für eine detaillierte Beschreibung der Objekte siehe den vorhergehenden Beitrag von P. Winterstein.

Probe	Sn	As	Sb	Ag	Cu	Bi	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb
600	< 0,01	0,520	0,560	0,009	0,007	0,004	2,0650	0,8324	0,05319
600 A	< 0,01	0,350	0,320	0,003	0,005	0,002	-	-	-
601	0,01	0,033	0,120	0,011	0,059	0,004	2,0580	0,8306	0,05303
602	0,02	0,032	0,014	0,006	0,033	0,003	2,1163	0,8695	0,05559
603	0,90	0,028	0,024	0,015	0,031	0,008	2,1041	0,8586	0,05499
604	0,03	0,032	0,046	0,009	0,046	0,007	2,0904	0,8462	0,05407
605	0,04	0,053	0,150	0,008	0,035	0,006	2,0863	0,8419	0,05376
606 A	0,80	0,082	0,200	0,014	0,031	-	2,1030	0,8567	0,05492
606 B	0,19	0,034	0,160	0,007	0,059	0,011	2,1034	0,8568	0,05491
607	1,10	0,027	0,043	0,015	0,021	0,008	2,0899	0,8484	0,05429
608	0,37	0,033	0,150	0,007	0,019	0,025	2,1002	0,8574	0,05485

Tab. 2: Spurenelementgehalte (in Gewichtsprozent) und isotopische Zusammensetzung des Bleis der hier untersuchten Objekte. Spurenelemente wurden ICP-emissionsspektrometrisch bestimmt, die Isotopenhäufigkeiten mittels Thermionen-Massenspektrometrie.

zurück.

Die isotopische Zusammensetzung des Bleis variiert innerhalb relativ weiter Grenzen (Tabelle 2 und Abb. 2); bei den ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb-Verhältnissen beträgt die Streuung etwa 3 Prozent, bei den ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb- und ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb-Verhältnissen je etwa 5 Prozent. (Die mit der Messung verbundenen experimentellen Unsicherheiten sind bei allen drei Verhältnissen und allen Proben kleiner als 0,1 %. In der Abbildung entspricht das etwa der halben Größe der Symbole.) Bei 17 Bleiobjekten aus dem oben bereits erwähnten Wrack des im frühen 1. Jahrhundert v. Chr. bei Mahdia vor der Ostküste von Tunesien gesunkenen Schiffs war der Befund völlig anders (Begemann und Schmitt-Strecker 1994). Dort war die isotopische Zusammensetzung von Bleibarren, Bleirohren, einem Anker (670 kg) und dem als Schutz des Schiffsrumpfes vor dem Schiffsböhrwurm (Teredo navalis, eigentlich eine Muschel) verwendeten Bleiblech nicht

messbar voneinander verschieden; die maximalen Unterschiede waren kleiner als 0,2 Prozent. Ein ähnliches Ergebnis berichten Pinarelli et al. (1995) für zehn Bleibarren aus einem Schiffswrack bei Mal di Ventre an der Westküste Sardinien. Es datiert wie das Mahdia-Wrack in die erste Hälfte des ersten vorchristlichen Jahrhunderts. Insgesamt wurden hier 980 Barren geborgen; die analysierten zehn Exemplare sind ein nur kleiner Teil. Sie wurden jedoch aus dem gesamten Fundensemble an Hand der in sie eingepprägten Handelsmarken verschiedener Produzenten so ausgewählt, dass alle Handelsmarken vertreten sind. Isotopisch unterscheiden die Proben sich nicht voneinander; zudem unterscheiden sie sich nicht von dem Mahdia-Blei (Abb. 2). Für beide kommt als Herkunftsort Cartagena im Südosten der iberischen Halbinsel in Frage, eine Gegend, von der bekannt ist, dass ihre Lagerstätten bis etwa in die Mitte des 1. Jahrhunderts v. Chr. ausgebeutet worden sind (Pinarelli et al. 1995). Wir neh-

men schon hier unser Ergebnis vorweg, dass dieses Blei bei den hier analysierten Objekten überhaupt nicht vertreten ist.

Die Variabilität der isotopischen Zusammensetzung der hier analysierten Objekte stützt die bereits erwähnte Vermutung, dass diese Objekte nicht einem einzigen Wrack zuzuordnen, sondern vermutlich zu verschiedenen Zeiten von verschiedenen Schiffen verloren gegangen sind. Interessant ist weiterhin, dass die Unterschiede im Spurenelementgehalt der beiden Proben des Senklots Nr. 606 sich in der Bleiisotopie nicht wiederfinden; isotopisch sind die beiden Proben nicht voneinander unterscheidbar. Die Variationen im Spurenelementgehalt spiegeln offenbar klein-skalige Schwankungen der chemischen Zusammensetzung verschiedener Chargen aus derselben Lagerstätte wider. Isotopisch stimmen die Proben dieses Senklots im übrigen überein mit dem Blei des anderen, typologisch gänzlich verschiedenen Senklots (Nr. 608) sowie mit der Probe von

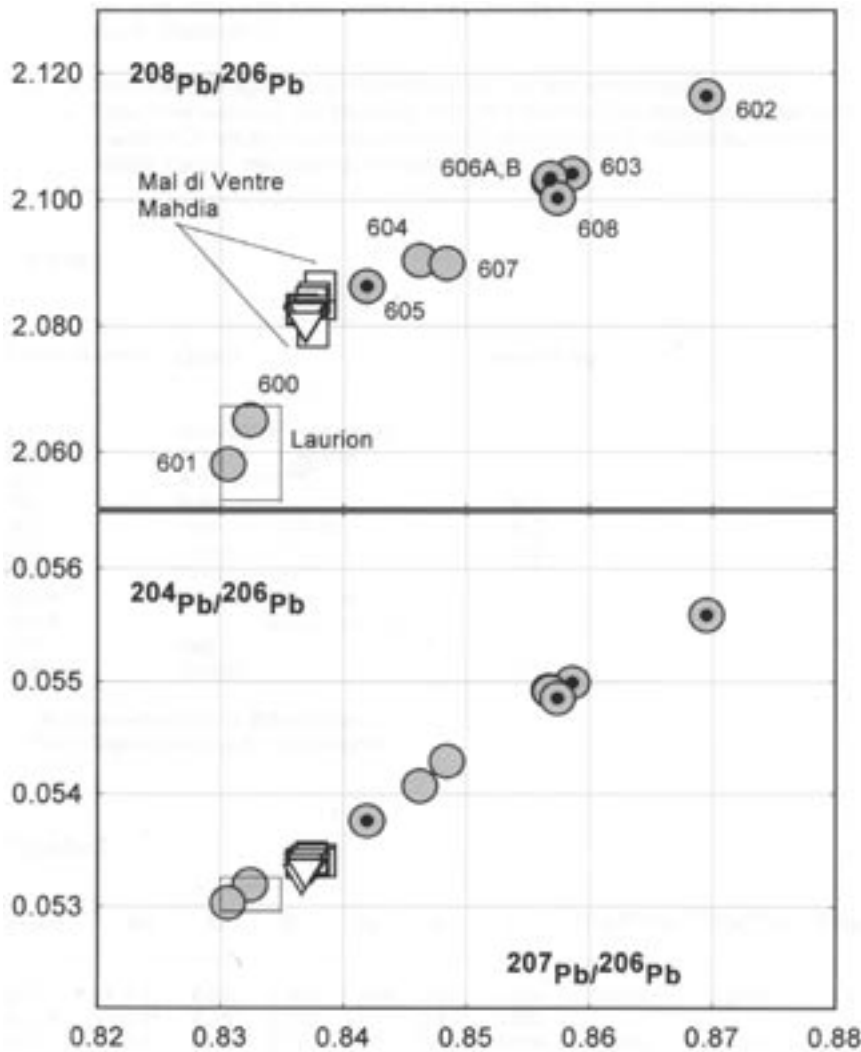


Abb. 2: Die weite Streuung der isotopischen Zusammensetzung des Nora-Bleis deutet auf eine Herkunft aus einer Reihe verschiedener Bleivorkommen hin. Im Gegensatz dazu sind z. B. alle untersuchten Bleiobjekte von Ladung und Schiff zweier Wracks (Mahdia vor der tunesischen Ostküste und Mal di Ventre vor der sardischen Westküste) in ihrer isotopischen Zusammensetzung sehr konstant; bei ihnen wurden keine signifikanten Unterschiede in der Isotopie gefunden. Für fünf der Nora-Objekte (markiert) sind isotopisch-passende Bleilagerstätten im Südwesten Sardinien bekannt; für zwei weitere kommt Laurion in Attika in Frage. Der "computer-gestützte Befund", die Ankerteile No. 602 und 603 bzw. 604 und 605 gehörten jeweils zu ein und demselben Anker (vorhergehender Beitrag von P. Winterstein) wird durch die Bleidaten nicht gestützt. Die mit den Messungen verbundenen experimentellen Unsicherheiten sind kleiner als die Größe der Symbole.

einem Verbindungsstück zweier Ankerarme (Nr. 603).

Die Vermutung, die beiden Objektpaare Ankerstock Nr. 602 und Verbindungsstück Nr. 603 sowie Ankerstock Nr. 604 und Verbindungsstück Nr. 605 seien jeweils Teile desselben Ankers gewesen, wird durch die Isotopenanalysen nicht gestützt; die Isotopie der beiden Teile ist jeweils deutlich voneinander verschieden. Möglicherweise waren zum Zeitpunkt der Fertigung der Anker Form und Größe bereits weitgehend standardisiert, sodass die Übereinstimmung von Maßeinheiten keinen Schluss auf einen gemeinsamen Fertigungsort oder -zeitpunkt erlaubt. Eine Reparatur der Anker durch Ersetzen der Verbindungsstücke z.B. würde zwanglos die verschiedenen Bleisorten erklären. Aber natürlich ist auch denkbar, dass

am selben Ort zur selben Zeit Blei mit verschiedenen isotopischen Signaturen verarbeitet worden ist. Letzteres halten wir jedoch für eher unwahrscheinlich.

Mögliche Herkunft des Bleis

Eine Herkunftsbestimmung des Bleis über seine isotopische Zusammensetzung ist mit einer prinzipiellen und einigen praktischen Schwierigkeiten verbunden. Prinzipiell müssten für eine eindeutige Zuordnung des Bleis eines Artefaktes zu dem einer Lagerstätte alle Bleilagerstätten voneinander verschiedene isotopische Signaturen aufweisen. Das ist jedoch nicht der Fall; verschiedene Lagerstätten sind nicht immer messbar voneinander verschieden. Das ist nicht eine Frage der Messgenauigkeit, sondern eine Folge der geochemischen Bedingungen, unter denen

sich die Lagerstätten gebildet haben und die letztlich die Isotopie bestimmen. Eine Reduzierung der mit den Messungen verbundenen experimentellen Unsicherheiten in den Häufigkeitsverhältnissen um einen Faktor zehn oder mehr würde nichts an dieser Tatsache ändern.

Die dadurch bedingte Mehrdeutigkeit kann gelegentlich eingeschränkt werden, wenn aus anderen Gründen die eine oder andere potentielle Lagerstätte ausgeschlossen werden kann oder zumindest unplausibel ist. Geographische Ferne einer isotopisch möglichen Lagerstätte zum Fundort der Objekte ist im vorliegenden Fall aber wohl kein solches Kriterium. Die untersuchten Objekte stammen aus einer Zeit, als im gesamten Mittelmeerraum weitläufige Handelsbeziehungen und ein reger Austausch von

Waren und Rohstoffen längst etabliert waren. Gerade wenn die Ankerteile und Senklote nicht von einem einzigen Wrack, sondern ursprünglich von verschiedenen Schiffen stammen, muss a priori mit den verschiedensten, auch weit entfernten Herkunftsorten gerechnet werden – allerdings nur innerhalb vernünftiger Grenzen. Wir werden später darauf zurückkommen.

Eine erste praktische Schwierigkeit ist sodann, dass nicht für alle Bleilagerstätten, die irgendwann einmal ausgebeutet worden sind, die isotopische Signatur bekannt ist. Selbst wenn eine Zuordnung eines Artefaktes zu einer Lagerstätte zur Zeit eindeutig ist, so muss dies stets unter dem Vorbehalt gesehen werden, dass es auch andere, bisher nicht untersuchte Lagerstätten geben mag, deren Bleierze ebenso gut passen würden. Schließlich, als zweite praktische Schwierigkeit bei der Interpretation der Daten, besteht natürlich immer die Möglichkeit, dass Blei verschiedener Herkunft gemeinsam verarbeitet worden ist, dass die Isotopie des Artefaktes also gar keine Entsprechung in irgendeiner Lagerstätte zu haben braucht, weil es sich in Wirklichkeit um die Mischung verschiedener Bleisorten handelt. In der hier gewählten Form der graphischen Darstellung der Häufigkeitsverhältnisse fällt z.B. die Mischung zweier Bleisorten auf die Verbindungsgerade zwischen den Messpunkten für die beiden Ausgangskomponenten.

Ein detaillierter Vergleich der Isotopenhäufigkeitsverhältnisse der hier analysierten Objekte mit denen von Bleilagerstätten zeigt für fünf von ihnen isotopisch passende Lagerstätten in Sardinien (Boni und Köppel 1985; Gale und Stos-Gale 1987; Begemann et al. 2001). Es sind im einzelnen der Ankerstock Nr. 602 (rechts oben in **Abb. 2**), das Verbindungsstück Nr. 603 und die mit diesem in den beiden Teildiagrammen der **Abb. 2** zusammenfallenden zwei Senklote

Nr. 606 und 608 sowie schließlich das Verbindungsstück Nr. 605. Die fraglichen Lagerstätten liegen im Südwesten der Insel in der bis in jüngste Zeit wirtschaftlich bedeutenden Bergbauregion von Iglesiente-Sulcis, der nicht zuletzt Sardinien seinen Ruf als Insel mit reichen Bodenschätzen verdankt. Zwei weitere isotopisch passende Lagerstätten (Funtana Raminosa) liegen im Zentrum der Insel sowie im Nordwesten bei Calabona. An beiden Orten wurde jedoch vornehmlich Kupfer abgebaut; Bleierze sind hier nur von untergeordneter Bedeutung. Ein in diesem Zusammenhang interessanter Hinweis findet sich bei Tylecote et al. (1983), die über eine ungewöhnliche Mineralassoziation aus dem Norden des Iglesiente berichten, wo Zinn (Kassiterit) mit Blei vergesellschaftet vorkommt. Möglicherweise erklärt das den deutlich erhöhten Zinngehalt der drei Proben Nr. 603, 606 und 608. Natürlich kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass dieses Zinn nur eine zufällige Verunreinigung des Bleis ist. Blei- und Zinnreste, wie sie möglicherweise in einer Gießerei für eine weitere Verwendung zwischengelagert wurden, sind insbesondere in korrodierter Form unscheinbar grau, bröselig, spezifisch schwer und leicht zu verwechseln. Gegen eine solche Erklärung spricht aber unseres Erachtens, dass vollkommen verschiedene Objekte, die nichts gemeinsam haben als ihre isotopische Signatur, in etwa gleichem Maße mit Zinn verunreinigt worden sein sollen. Zwangloser erscheint uns da die Erklärung, dass die eingesetzten Bleierze bereits mit Spuren von Zinnerzen vergesellschaftet waren.

Für die beiden Ankerstöcke Nr. 600 und 601 (links unten in **Abb. 2**) finden sich in unserer Datei keine passenden sardischen Erze. Für diese beiden Proben scheidet auch eine Mischung verschiedener sardischer Bleisorten als Erklärung ihrer Isotopie aus: Mischungen können immer nur zwischen den Extremen liegen; diese beiden Proben aber sind

ja gerade – für sardisches Blei – extrem in ihrer isotopischen Zusammensetzung. An anderen Orten im Mittelmeerraum dagegen gibt es sehr wohl passende Bleivorkommen, Laurion z.B. im Südosten der attischen Halbinsel. Seine riesigen Bleilagerstätten wurden in der frühen Bronzezeit, der "klassischen" Periode im 5. und 4. Jahrhundert v. Chr., der römischen und byzantinischen Zeit im 5. und 6. Jahrhundert n. Chr. und dann wieder seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bis in die Jetztzeit ausgebeutet; Schätzungen besagen, dass zur Blütezeit im 5. und 4. vorchristlichen Jahrhundert die Jahresproduktion einige tausend Tonnen Blei betrug (s. z.B. Wagner und Pernicka 1982).

Es bleiben der Ankerstock Nr. 604 und der Bleiring Nr. 607. Für beide finden sich in unserer Datei unter einigen Tausend Erzproben aus dem gesamten Mittelmeerraum keine plausiblen Entsprechungen unter den veröffentlichten Bleierzen; die Übereinstimmung mit Erzen aus Deutschland, aus dem Iran, dem Kaukasus und Japan ist sicherlich rein zufällig und kein Hinweis auf eine mögliche Herkunft des Bleis. Die Lage der Messpunkte in der Mitte der **Abb. 2** besagt, dass bei diesen Proben im Gegensatz zu den beiden vorhergehenden die Isotopie möglicherweise eine Mischung von Blei verschiedener Lagerstätten ist. Diese Möglichkeit ist prinzipiell weder zu beweisen noch auszuschließen. Ebenso möglich ist aber auch, dass das Blei aus einer bisher isotopisch noch nicht erfassten Lagerstätte stammt.

Wir danken den Herren Prof. Chr. Börker und P. Winterstein für die Anregung zu dieser Untersuchung, Herrn H.-J. Voss für die Bestimmung der Spurenelemente und den Damen R. Löhr und Ch. Sudek für ihre Mithilfe bei den Isotopenhäufigkeitsmessungen.

Literatur

- BEGEMANN, F. und S. SCHMITT-STRECKER; Das Blei von Schiff und Ladung: Seine Isotopie und mögliche Herkunft. In: Das Wrack – Der antike Schiffsfund von Mahdia. Band 2, 1073-1076. Rheinisches Landesmuseum Bonn. 1994.
- BEGEMANN, F., S. SCHMITT-STRECKER, E. PERNICKA und F. LO SCHIAVO; Chemical composition and lead isotopy of copper and bronze from Nuragic Sardinia. *European Journal of Archaeology* 4, 43-85, 2001.
- BONI, M. und V. KÖPPEL; Ore-lead isotope pattern from the Iglesias-Sulcis area (SW Sardinia) and the problem of remobilization of metals. *Mineralium Deposita* 20, 185-193, 1985.
- GALE, N. H. und Z. A. STOS-GALE; Oxhide ingots from Sardinia, Crete and Cyprus and the Bronze Age copper trade: New scientific evidence. In: M. Balmuth (ed.), *Studies in Sardinian Archaeology III. Nuragic Sardinia and the Mycenaean World*. BAR International Series 387, 135-178, 1987.
- GELSDORF, F.; Die Anker. In: *Das Wrack – Der antike Schiffsfund von Mahdia*. Band 1, 83-88. Rheinisches Landesmuseum Bonn. 1994.
- HÖCKMANN, O.; Das Schiff. In: *Das Wrack – Der antike Schiffsfund von Mahdia*. Band 1, 53-81. Rheinisches Landesmuseum Bonn. 1994.
- KAPITÄN, G.; Die Entstehung der Anker. Mit einem Stein fing es an – oder? *DEGUWA-Rundbrief* Nr. 10, 7-12, 1995.
- OLESON, J. P.; Ancient sounding-weights: a contribution to the history of Mediterranean navigation. *Journal of Roman Archaeology*, 13, 293-310, 2000.
- PÄFFGEN, B. und W. ZANIER; Kleinfunde aus Metall. In: *Das Wrack – Der antike Schiffsfund von Mahdia*. Band 1, 111-130. Rheinisches Landesmuseum Bonn. 1994.
- PINARELLI, L., D. SALVI und G. FERRARA; The source of ancient Roman lead, as deduced from lead isotopes: the ingots from the Mal di Ventre wreck (Western Sardinia, Italy). *Science and Technology for Cultural Heritage*, 4 (1), 79-86, 1995.
- TYLECOTE, R. F., M. S. BALMUTH und R. MASSOLINOVELLI; Copper and bronze metallurgy in Sardinia. *Journal of the historical metallurgy Society*, 17, 63-77, 1983.
- WAGNER, G. A. und E. PERNICKA; Blei und Silber im Altertum: ein Beitrag der Archäometrie. *Chemie in unserer Zeit*, 16, 47-56, 1982.
- WINTERTSTEIN, P.; Funde von Bleiobjekten an der Küste des antiken Nora (Sardinien). *Skyllis, Zeitschrift für Unterwasserarchäologie* 4, 2001 S. 150 - 161.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr. Friedrich Begemann
Max-Planck-Institut für Chemie
(Otto-Hahn-Institut)
Postfach 3060
55020 Mainz

Dr. Sigrid Schmitt-Strecker
Max-Planck-Institut für Chemie
(Otto-Hahn-Institut)
Abtlg. Kosmochemie
Postfach 3060
55020 Mainz

Willkommen bei W3worx
Hier sind sie Richtig
wenn Sie Ihr Unternehmen
Erfolgreich in WWW
präsentieren möchten

W3worx • Irrerstr. 4/6 • 90403 Nürnberg
Fon: 0911 2146208 • Fax: 0911 2146207 • Mail: deguwa@w3worx.com

@ WWW @
@ E-Commerce @
@ E-Mail @
@ Web-Hosting @
@ Design @
@ CD-Produktion @