

7 ARCHÄOMETALLURGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR SITZBANK VON HOCHDORF

Diana Modarressi-Tehrani

EINLEITUNG

Ausgangslage

Das unberaubte, früheisenzeitliche Fürstengrab von Eberdingen-Hochdorf (Kr. Ludwigsburg) bietet insbesondere aufgrund seines reichen Fundinventars, darunter eine Vielzahl an metallurgischen Handwerkserzeugnissen sowie der Einzigartigkeit einiger Beigaben interessante Ansatzpunkte für archäometallurgische Betrachtungen. Innerhalb des Grabinventars stellt die Sitzbank, auf die der Fürst gebettet worden war (Biel 1985), unter vielen Gesichtspunkten eine Besonderheit dar. Während im Laufe der Jahre die restliche Ausstattung des Grabes in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten thematisiert und detailliert bearbeitet wurde, blieb eine umfassende Betrachtung der Sitzbank aus, wengleich es immer wieder archäologische und kulturhistorische Zugriffe gab (Biel 1985; Frey 1989; Verger 2006; 2010). Die im vorliegenden Projekt vorgenommene, detaillierte Untersuchung dieses Unikats in sowohl analytischer, technischer (vgl. Binggeli in diesem Band, Kap. 10), als auch archäologischer und kulturhistorischer Hinsicht (vgl. Biel in diesem Band, Kap. 2), eröffnet die Möglichkeit einer weitgreifenden Interpretation der Fertigungs- und Nutzungsgeschichte dieses einzigartigen Werkstücks.

Die analytischen Arbeiten am Fundmaterial des Hochdorfer Grabes beschränkten sich bis dato – was die Archäometallurgie angeht – auf Analysen durch Axel Hartmann, der bereits Ende der 1980er Jahre einen Gesamtprobenbestand von 62 Proben (45 Bronze- und 17 Goldobjekte) von einige Teilen der Grabausstattung, darunter auch sechs Proben der Sitzbank, mittels spektralanalytischer Verfahren untersucht hat (Hartmann 1989). Der größte Teil der Analysen Hartmanns entfiel jedoch auf die unterschiedlichen Bestandteile des Hochdorfer Bronzekessels (26 Analysen). Dabei konnte festgestellt werden, dass der Kesselkorpus sich in seinem Grundmaterial deutlich von den restlichen Bestandteilen unterscheidet. Wäh-

rend die Bleche (prozessbedingt) nur wenig Blei enthalten, bestehen die Attaschen, Griffe und Löwen aus einer verbleiten Zinnbronze. Hartmann merkt an, dass einige der Funde, darunter die Trägerfiguren der Sitzbank durch einen vergleichsweise hohen Bismutgehalt auffallen (0,17–0,31 %). Aufgrund der analytischen Unterschiede nimmt er an, dass das Blech der Sitzbank und die Trägerfiguren an zwei unterschiedlichen Orten gefertigt worden sind. Außerdem stellt er heraus, dass die Spurenelementgehalte des Kesselzubehörs und der Trägerfiguren der Sitzbank gut korrelieren, was ihn zu der Annahme veranlasst, den oder die Entstehungsorte der beiden Konstruktionselemente der Werkstücke in unmittelbarer Nähe zueinander zu vermuten.

Besonderes Augenmerk legt Hartmann auf die Bismutgehalte der unterschiedlichen untersuchten Werkstücke. Bezüglich des Bronzekessels stellt er die Niete des Löwen 2 heraus, die kaum Zinn und kein Bismut enthalten. Generell bemerkt er – unter Rückgriff auf die SAM-Datenbank (Junghans u. a. 1960; 1968; 1974) – zu den Hochdorfer Funden, dass die vergleichsweise erhöhten Bismutgehalte einen Anhaltspunkt zur Provenienz des Materials liefern könnten. Er führt in diesem Zusammenhang an, dass insbesondere bei den griechischen Funden (Depot von Petrálona, Chalkidiki, Nordgriechenland) die Bismutgehalte bei einer signifikanten Anzahl von Objekten über 0,2 % lägen, was im Gesamtbestand der in der SAM-Datenbank aufgeführten Analysen vergleichsweise selten ist.

Vor diesem archäologischen Hintergrund und aufbauend auf dem ersten analytischen Zugriff auf die Sitzbank aus dem Fürstengrab von Hochdorf wurden die zentralen Fragestellungen für das vorliegende Analysenprogramm abgeleitet.

Fragestellungen und Ziele

Die zentralen Fragestellungen an die materialtechnische Analyse der Sitzbank lassen sich in zwei Hauptthemen zusammenfassen: Zum

einen wurde eine ganz allgemeine, chemische Materialcharakterisierung der unterschiedlichen Bauteile vorgenommen, um zu ergründen, welches Material Verwendung gefunden hat und ob die verwendete/n Legierung/en an die unterschiedlichen Bearbeitungstechniken zur Herstellung der einzelnen Bauteile der Sitzbank angepasst wurden. Zum anderen sollte beantwortet werden, welcher Region das Rohmaterial für die Sitzbank entstammt, ob dies mit den anhand der archäologisch-ikonografischen Spezifika festgestellten Südkontakte korreliert, und ob sich Unterschiede in der Provenienz des Materials der einzelnen Bauteile erkennen lassen.

Ziel des archäometallurgischen Untersuchungsprogramms war dementsprechend die Ergänzung der archäologischen sowie experimenteltechnischen Ergebnisse vor dem Hintergrund der Klärung der Produktions- und Nutzungsgeschichte der Sitzbank. Zentraler Aspekt war hierbei der Versuch eines Nachweises des (gezielten) Exports eines in Norditalien gefertigten Werkstücks, da die ikonographischen Verzierungen der Bleche der Sitzbank in Richtung der Golasecca-Kultur verweisen. Daher wurden einige Vergleichsobjekte aus dem Bereich der Golasecca-Kultur beprobt.

Aufgrund der Tatsache, dass unter den Bearbeitern des Hochdorfer Grabhügels und Fundmaterials auf Basis der technischen Ausgestaltung der Sitzbank auch die These diskutiert wurde, dass als Rohmaterial für die Sitzbank unter Umständen aus hallstattzeitlichen Situlen gewonnene Bleche verwendet worden sein könnten, wurden hierfür ebenfalls Proben vorgesehen, um erste Referenzdaten zu erhalten. Die Proben wurden sowohl an Blechen, als auch an Nietten der Situla aus dem hallstattzeitlichen Fürstengrab von Kappel-Grafenhausen entnommen.¹

Der Vergleich mit diesen Objekten soll zeigen, ob, und wenn ja, inwiefern von einer gemeinsamen bzw. interdependenten Produktion und/oder Nutzung derselben Erzbasis gesprochen werden kann.

MATERIAL UND METHODEN

Probenmaterial

Zur Untersuchung standen insgesamt 81 Proben zur Verfügung (Tab. 1). Zum Teil wurde auf Alt-Proben zurückgegriffen, die im Verlauf der Restaurierung der Sitzbank durch Jörg Biel und

Hilmar Schickler genommen wurden.² Diese recht große Anzahl an Altproben entstammt zum überwiegenden Teil den Trägerfiguren, da seinerzeit angedacht war, die Produktionsgeschichte dieser Stücke umfassend analytisch zu untersuchen. Zusätzlich zum vorhandenen Probenmaterial wurden an bestimmten Stellen der Sitzbank (im Wesentlichen handelte es sich um Nietten und die Kettenanhänger) einige wenige zusätzliche Proben entnommen. Insgesamt sind 55 Proben der Sitzbank zuzurechnen, die sich nicht gleichmäßig, aber repräsentativ auf die unterschiedlichen Konstruktionselemente des Werkstücks verteilen (Abb. 1) und prinzipiell in vier Kategorien einzuteilen sind:

- 1) Bleche (n = 12),
- 2) Nietten (n = 18),
- 3) Trägerfiguren (n = 20)
- 4) Griffe, Anhänger, Attaschen (n = 5).

Zusätzlich wurden fünf Proben von Schlangenfibelfragmenten aus dem Grab genommen (Hansen 2010, Kat.-Nr. 315; 312, 327; 328; 330). Darüber hinaus wurden auch vier Objekte aus der jüngeren Siedlung (Hochdorf „Reps“) beprobt, darunter ein Draht, ein Ring, eine Kahnfibel sowie auch die Bronzefeinwaage.

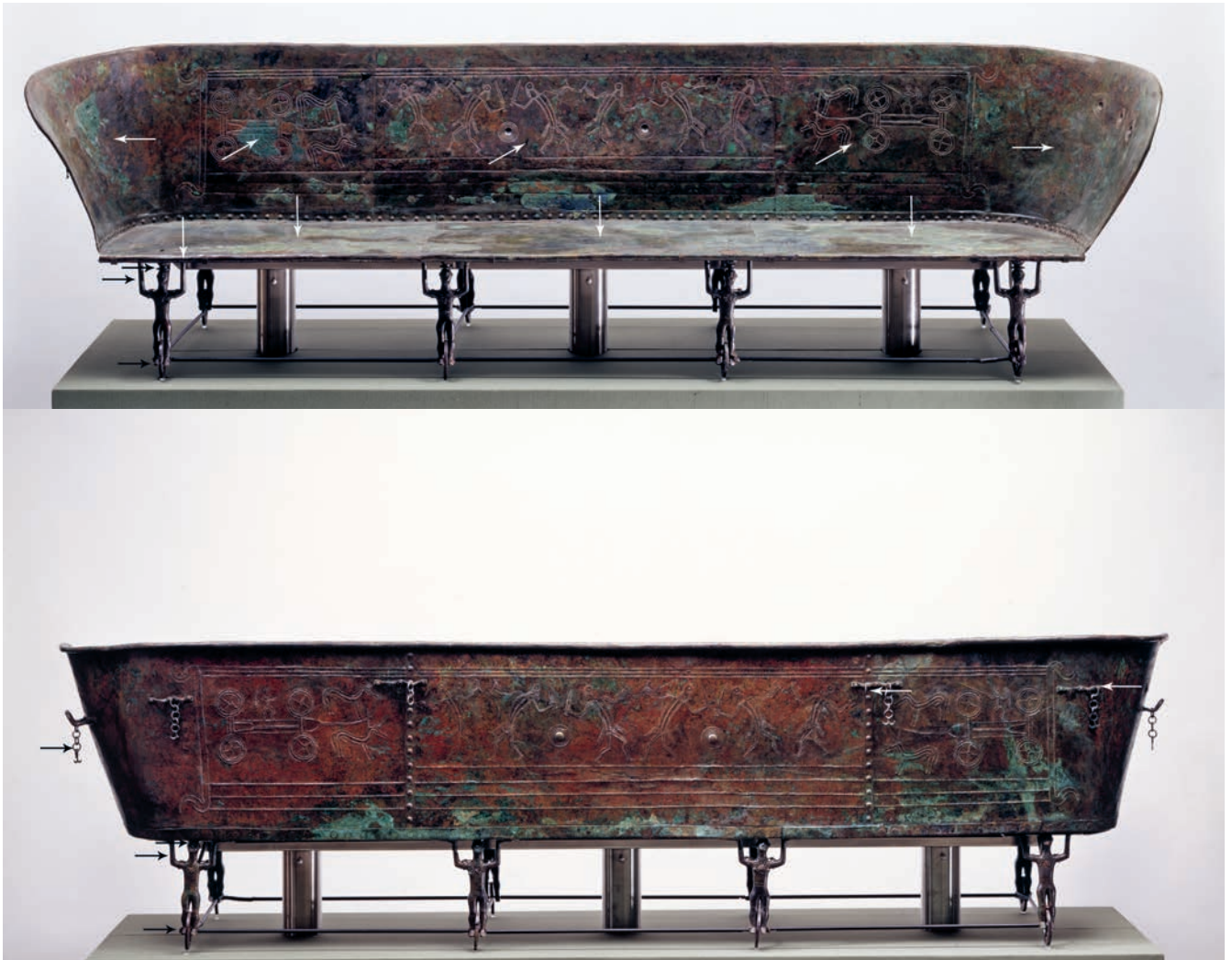
Zur Referenzierung wurde darüber hinaus eine erste Probenserie von Objekten genommen, die nicht im Fundkontext zum Grab stehen, sondern im Zusammenhang mit den Verzierungen der Bleche der Sitzbank zu sehen sind (s. o.). Diese entfielen auf insgesamt 12 Objekte der Golasecca-Kultur aus den Sammlungen des Musée d'Archéologie nationale in St. Germain-en-Laye sowie fünf Proben aus Blechen und Nietten der Situla von Kappel (Dehn u. a. 2005).

Vorgehen Analytik/Analysenprogramm

Die analytischen Arbeiten wurden sukzessive in fünf verschiedenen Zeitfenstern vorgenommen. Bereits im Vorlauf der Antragstellung wurden insgesamt 20 Proben aus dem Probenbestand von Biel/Schickler analysiert, um einen ersten generellen Überblick über die allgemeine Materialzusammensetzung und ebenso eine erste Einschätzung zur Provenienz des Materials zu ermöglichen. Gleichzeitig sollte ein Vergleich mit den 1989 publizierten sechs Analysen der Sitzbank sowie dem seinerzeit ebenfalls analysierten Grabinventar (Hartmann 1989) vorgenommen werden. Von diesen Proben entfielen 15 auf unterschiedliche Trä-

¹ Die Beprobung wurde durch das Engagement von Erwin Keefer und die kurzfristige Bereitstellung der Blechfragmente des Fundarchivs Rastatt ermöglicht.

² Bei diesen Probenentnahmen handelte es sich nach den Untersuchungen von A. Hartmann um einen zweiten vorgesehenen analytischen Ausgriff auf das Fundmaterial aus dem Grab.



1 Lokalisierung der beprobten Konstruktionselemente der Sitzbank (a. Vorder- und b. Rückseite), detaillierte Beschreibung der Probenorte in Tab. 1.

Tabelle 1 Gesamtprobenbestand der Untersuchung, gleichzeitig Konkordanzliste zwischen Labor- und Originalfundnummern. Fortsetzung S. 76–77.

Labornr. DBM	Originalnr.	Kürzel	Objekt	Objektdetail
Sitzbank				
4217_08	1100	HoBa_Fig	Sitzbank	132-Radkranz
4218_08	1101	HoBa_Fig	Sitzbank	132-Ferse links
4220_08	1113	HoBa_Fig	Sitzbank	134-rechter Fuß
4221_08	1118	HoBa_Fig	Sitzbank	138-rechter Fuß
4222_08	1119	HoBa_Fig	Sitzbank	138-Radkranz
4223_08	1131	HoBa_Fig	Sitzbank	177-Hand/Rad
4224_08	1132	HoBa_Fig	Sitzbank	177-Hand/Rad
4225_08	1136	HoBa_Fig	Sitzbank	144-Fuß/Rad
4226_08	1137	HoBa_Fig	Sitzbank	144-Radkranz
4227_08	1141	HoBa_Fig	Sitzbank	146-Fußsohle
4228_08	1142	HoBa_Fig	Sitzbank	146-Radkranz/Speiche
4229_08	1145	HoBa_Fig	Sitzbank	145-Radkranz
4230_08	1146	HoBa_Fig	Sitzbank	145-linker Fuß

Fortsetzung Tabelle 1

Labornr. DBM	Originalnr.	Kürzel	Objekt	Objektdetail
4231_08	1149	HoBa_Fig	Sitzbank	198-Radkranz
4232_08	1150	HoBa_Fig	Sitzbank	198-linker Fuß
4233_08	1151	HoBa_Gri	Sitzbank	Griff links außen
4235_08	1161	HoBa_Nie	Sitzbank	Niet Lehne
4237_08	1172	HoBa_Ble	Sitzbank	Lehne Fußende
4238_08	1173	HoBa_Ble	Sitzbank	Sitzfläche
4240_08	1177	HoBa_Ble	Sitzbank	Kopfende, Außenkante
4654_12	1104	HoBa_Fig	Sitzbank	132-Polster
4655_12	1106	HoBa_Nie	Sitzbank	132-Niet linke Hand
4656_12	1107	HoBa_Fig	Sitzbank	134-Polster
4657_12	1109	HoBa_Fig	Sitzbank	134-linke Hand
4658_12	1115	HoBa_Fig	Sitzbank	138-Polster
4659_12	1128	HoBa_Nie	Sitzbank	177-Linke (?) Hand, Gußansatzstelle (Niet?)
4660_12	1130	HoBa_Fig	Sitzbank	177-Polster
4661_12	1133	HoBa_Nie	Sitzbank	144-linke (?) Hand, Gußansatzstelle (Niet?)
4662_12	1135	HoBa_Nie	Sitzbank	144-rechte (?) Hand, Gußansatzstelle (Niet!)
4663_12	1140	HoBa_Nie	Sitzbank	146-linke (?) Hand, Gußansatzstelle (Niet!)
4664_12	1143	HoBa_Nie	Sitzbank	145-rechte (?) Hand, Gußansatzstelle (Niet!)
4665_12	1152	HoBa_Nie	Sitzbank	Niet Griff links
4666_12	1153	HoBa_Nie	Sitzbank	Niet Rücklehne, links, Vernietung Bleche
4667_12	1154	HoBa_Nie	Sitzbank	Niet Rücklehne, links, Vernietung Bleche
4668_12	1155	HoBa_Ble	Sitzbank	Bodenblech, links
4669_12	1156	HoBa_Nie	Sitzbank	Bodenblech links, Niete, Vernietung Stützstrebe
4670_12	1157	HoBa_Nie	Sitzbank	Rückwand, Niet, Vernietung Bleche
4671_12	1158	HoBa_Nie	Sitzbank	Rückwand, Niet, Vernietung Bleche
4672_12	1160	HoBa_Nie	Sitzbank	Bodenblech mittig, Niete, Vernietung Stützstrebe
4673_12	1162	HoBa_Nie	Sitzbank	Rückwand, Niet, Vernietung Bleche
4674_12	1163	HoBa_Gri	Sitzbank	Griff rechts
4675_12	1164	HoBa_Nie	Sitzbank	Niet Griff rechts
4676_12	1171	HoBa_BleH	Sitzbank	Bronzeblech von E'Haken, Nr. 221b
4677_12	1175	HoBa_Ble	Sitzbank	Kline, Rückwand
4678_12	1176	HoBa_Ble	Sitzbank	Kline Bodenblech Kopfende, 1. Figur vorn
4682_12	2012_10	HoBa_AnH	Sitzbank	Aufhängevorrichtung Kettenanhänger Rückseite links
4683_12	2012_9	HoBa_AnH	Sitzbank	Ring linker Teil mittige Aufhängevorrichtung
4684_12	2012_8	HoBa_AnH	Sitzbank	Anhänger rechter Kettenanhänger
4685_12	2012_7	HoBa_Ble	Sitzbank	zweiter Buckelkreis am Henkel der Kline (Kopfende)
4686_12	2012_6	HoBa_Nie	Sitzbank	Niet Hand 2. Vollplastik von S, Obj. 46, Fl. 21/22 Pl.5
4687_12	2012_5	HoBa_Ble	Sitzbank	Teile Rückenlehne einschl. beider Seitenteile
4688_12	2012_4	HoBa_Ble	Sitzbank	Rückenlehne
4689_12	2012_3	HoBa_Ble	Sitzbank	Rückenlehne
4690_12	2012_2	HoBa_Ble	Sitzbank	Bodenlehne
4691_12	2012_1	HoBa_Nie	Sitzbank	Reste von Nietköpfen

Fortsetzung Tabelle 1

Labornr. DBM	Originalnr.	Kürzel	Objekt	Objektdetail
Grab				
4354_09	30 (Hansen 2010, Kat.Nr. 321)	HoGra_Fib	Fibel	Schlangenfibelfragment
4355_09	152 (Hansen 2010, Kat.Nr. 315)	HoGra_Fib	Fibel	Schlangenfibelfragment
4356_09	158 (Hansen 2010, Kat.Nr. 327)	HoGra_Fib	Fibel	Schlangenfibelfragment
4357_09	174 (Hansen 2010, Kat.Nr. 328)	HoGra_Fib	Fibel	Schlangenfibelfragment
4358_09	252 (Hansen 2010, Kat.Nr. 330)	HoGra_Fib	Fibel	Schlangenfibelfragment
Siedlung „Reps“				
4679_12	94-2102/2	HoSi_Dra	Draht	Siedlung Befund 2102/2 Br Draht
4680_12	199-1603/1	HoSi_Rin	Ring	Siedlung Befund 1603/1 Br Fingerring
4681_12	473-1505/1	HoSi_Fib	Fibel	Siedlung Befund 1505/1 Bronzekahnfibel
4353_09		HoSi_Waa	Feinwaage	Feinwaage
Golasecca				
4643_14	17173	Gola_Gür	Gürtelhaken	Gürtelhaken
4644_14	17177	Gola_To	Toilettbesteck	Toilettbesteck
4645_14	17185	Gola_An	Anhänger	Glockenanhänger Typ „Melagrana“
4646_14	17178.01	Gola_Nad	Nadel	Nadelfragmente
4647_14	17180.02	Gola_Fib	Fibel	Sanguisugafibel
4649_14	17187.01	Gola_An	Anhänger	Anhänger „Glockenschlegel“ (a batacchio)
4650_14	17188.02	Gola_Arm	Armring	Armring, offen
4651_14	20475.01	Gola_Fib	Fibel	Sanguisugafibel
4652_14	20483.04	Gola_Fib	Fibel	Schlangenfibelfragment
4653_14	20800.01	Gola_Arm	Armring	Armring, offen
4654_14	20806.03	Gola_Fib	Fibel	Sanguisugafibel
4655_14	20807.05	Gola_Fib	Fibel	Schlangenfibelfragment
Kappel				
4808_13	1976-62-2-1P	Kap_Sit	Situla	Blech
4809_13	774288	Kap_Sit	Situla	Blech
4810_13	774264-103	Kap_Sit	Situla	Niete
4811_13	774264-103	Kap_Sit	Situla	Niete
4812_13	774264-103	Kap_Sit	Situla	Niete

gerfiguren, drei auf Bleche der Sitzfläche und Rückenlehne und jeweils eine auf einen Griff und einen Niet.

In der zweiten Phase wurden die fünf Fibeln aus der Grabausstattung sowie die Bronzewaage aus der jüngeren Siedlung beprobt und analysiert. Diese Analysen sollten zwecks Referenzierung zu Fragen der lokalen Produktion sowie Adressieren der regionalen Materialbezugs Konstanz chronologisch unterschiedlicher Objekte dienen. Abgesehen von den genannten Fibeln konnten aus dem Grabzusammenhang zum Zeitpunkt der Durchführung der Analysen aus restauratorischen Gründen keine weiteren Proben genommen werden, wenngleich dies vom analytischen Standpunkt her ange raten war. Aufgrund der geringen Probenzahl konnte und kann diese Referenzierung daher nur als Anhaltspunkt dienen.

Die dritte Phase diente dazu, das Analysenprogramm zur Sitzbank auszuweiten und basierend auf den vorläufigen Ergebnissen der ersten Phase, in der bereits Unterschiede in der Auswahl und Herkunft der Materialien der unterschiedlichen Konstruktionsteile deutlich wurden, eine Ausweitung der Beprobung vorzunehmen. Es wurden weitere 35 Proben analysiert, zehn Proben wurden neu entnommen (sowohl aus den im Archiv des Landesmuseum Württemberg vorliegenden Restaurierungsresten als auch – in geringer Anzahl – am Werkstück selbst),³ die ebenfalls pauschalchemisch sowie bleiisotopisch untersucht wurden. Hieraus sollte eine Falsifizierung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen der ersten Analyse ein einheitlich erzielt werden. Des Weiteren wurden zur Ergänzung des jüngeren Fundspektrums in dieser Phase die Gelegenheit genutzt drei Kleinfunde (Draht, Ring, Kahnfibel) aus der Siedlung zu beproben, die die Basis zur Korrelation der chronologisch unterschiedlichen Materialien etwas erweitern sollte.

Ein nächster Schritt ergab sich aus dem glücklichen Umstand Proben an Blechfragmenten der Situla aus dem Grabhügel 3 von Kappel-Grafenhausen (Dehn u. a. 2005) entnehmen zu können. Insgesamt wurden fünf Proben, zwei von den Blechen und drei von den Nieten entnommen. Hintergrund dieser Beprobung war ein erster Ausgriff auf die aufgeworfene Frage, ob für den Bau der Hochdorfer Sitzbank gegebenenfalls Bleche von Situlen als Rohmaterial gedient haben.

In einer abschließenden Phase konnten, in Anlehnung an die archäologisch-ikonographischen Überlegungen und die Einordnung des

Werkstücks in eine norditalische Tradition, insgesamt 12 Objekte der Golasecca-Kultur, die sich in der Sammlung des Musée d'Archéologie nationale in St. Germain-en-Laye befinden, beprobt werden. Hierdurch ergab sich eine direkte Korrelationsmöglichkeit von Fundgut aus Norditalien mit dem Material der unterschiedlichen Konstruktionselemente der Sitzbank.

Probenaufbereitung und -auswertung

Die Proben wurden in Lösung gebracht und auf ihre chemische Pauschalzusammensetzung sowie nach Abtrennung auf ihre Blei-Isotopenverhältnisse untersucht. Dafür wurden zwei unterschiedliche Geräte verwendet. Während die Pauschalchemie immer mittels HR-SC-ICP-MS (Element XR, Thermo) gemessen wurde, wurden die Bleiisotopenverhältnisse für die Proben aus der ersten Phase ebenfalls mit diesem Gerät gemessen, während die jüngeren Analysezyklen mittels präziserem MC-ICP-MS (Neptune, Thermo) analysiert wurden. Hierdurch konnte für die Proben der späteren Analysezyklen der messmethodische Fehler reduziert werden.

Die Auswertung der pauschalchemischen Analysen erfolgte unter Verwendung der normierten und logarithmierten Daten mittels der multivariaten Methode der Clusteranalyse (Auswerteprogramm: StatGraphics Centurion), alle Prozentangaben beziehen sich auf Gew. %. Als Algorithmus wurde der Gruppenmittelwert eingesetzt, als Abstandsmaß wurde der quadratisch-euklidische Abstand verwendet. Die für die Clusterung herangezogenen Spurenelemente sind: Silber (Ag), Arsen (As), Bismut (Bi), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Blei (Pb) und Antimon (Sb).

Die Auswertung der Bleiisotopenverhältnisse erfolgte unter Rückgriff auf den bereits publizierten Datenbestand zu Kupfer- und Bleierzen in den zur Diskussion stehenden Regionen.

ERGEBNISSE

Analytik im Vorlauf des DFG-Projekts

Die erste Phase der Analysen wurde im Vorlauf zum DFG-Projekt „Die Sitzbank von Hochdorf – Untersuchungen zur Machtdemonstration in der frühen keltischen Welt“ durchgeführt. Wenngleich die Datenbasis mit nur 20 Proben vergleichsweise klein war, waren die

³ An dieser Stelle möchte ich den Mitarbeitern des Landesmuseums Württemberg herzlich für die hervorragende Vorbereitung und wohlwollende

Betreuung bei der Entnahme der Proben aus den im Archiv verwahrten Beständen sowie der Neubeprobung der Sitzbank danken.

erzielten Ergebnisse sehr aufschlussreich und halfen das Probenprogramm zu fokussieren. Daher sollen diese Ergebnisse kurz skizziert werden, bevor eine Betrachtung der gesamten Datenbasis erfolgt.

Die pauschalchemische Analyse (Tab. 2) des Materials der o. g. Proben zeigte, dass es sich bei dem Metall um eine vergleichsweise reine Zinnbronze, mit Gehalten von durchschnittlich 88 % Kupfer und 10 % Zinn, handelt. Die Gehalte der Neben- und Spurenelemente waren im Allgemeinen vergleichsweise gering und somit für weitergehende Betrachtungen insignifikant. Lediglich die Bleikonzentrationen zeigten bedeutende Unterschiede, sie lagen zwischen 0,04 % und 1,42 %, wobei die höchsten Werte (über 1 %) bei Proben von drei unterschiedlichen Trägerfiguren festgestellt wurden.

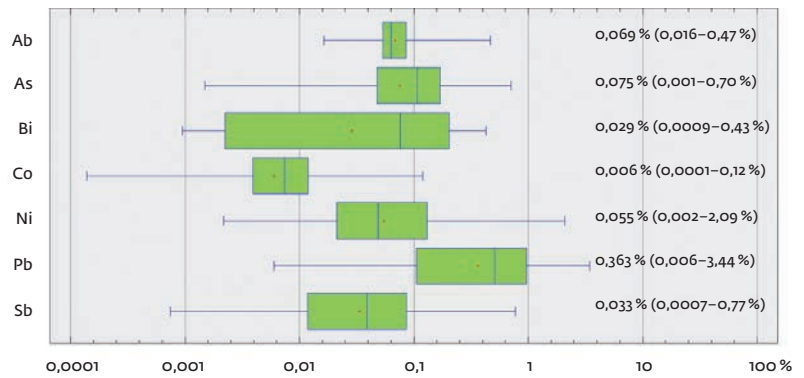
Eine Auswertung der Analysen mittels multivariater Clusteranalyse zeigte, dass sich trotz der geringen Probenanzahl fünf unterschiedliche Materialgruppen ansprechen ließen. Interessanterweise clusterten die Trägerfiguren insgesamt in drei separate Cluster, während die restlichen Analysen – abgesehen von dem beprobten Niet, der einen eigenen Cluster bildete – in einen gemeinsamen Cluster gruppierten.

Die Analyse der Bleisotopen-Verhältnisse zeigte, dass sich mindestens zwei verschiedene Materialgruppen anhand ihrer bleisotopischen Zusammensetzung unterscheiden ließen. Die anhand der Clusteranalyse erkennbar hohe Variabilität des Materials spiegelt sich in der Bleisotopie also nicht wider, was auch nicht weiter verwundert, da Provenienz und Verarbeitungstechnik keine zwingende, korrelative Beziehung zueinander haben. Interessant ist hingegen, dass sich die unterschiedlichen Konstruktionsteile recht deutlich auf die beiden bleisotopischen Gruppen aufteilen. Die Bleche und die Trägerfiguren befinden sich in unterschiedlichen Feldern, und auch hier zeigt sich erneut, dass der Niet in die Gruppe der Trägerfiguren einzuordnen ist und nicht in jene der Bleche.

Anhand der Ergebnisse dieser ersten, alle Konstruktionselemente einschließenden Analyseserie zum Material der Hochdorfer Sitzbank, konnte das endgültige Analyseprogramm gewinnbringend fokussiert und gezielt um Vergleichsmaterial erweitert werden.

Analyse des Hochdorfer Fundmaterials

Im Verlauf des DFG-Projekts wurden weitere 44 Proben aus dem Grab – erneut lag der Fokus



auf der Sitzbank – und der jüngeren eisenzeitlichen Siedlung von Hochdorf untersucht. Es erscheint opportun, diese zusammen mit den bereits beschriebenen Vorab-Analysen darzustellen⁴, um sie in einen größeren materialtechnischen Kontext einordnen zu können.

Analyse der Pauschalchemie

Die pauschalchemischen Analysen (Tab. 2) zeigen, dass es sich, mit Ausnahme einer Schlangenfibel aus dem Grab (Hansen 2010, Kat.-Nr. 315), die eine reine Kupferfibel ist (98,97 % Kupfer), bei dem Material aller beprobten Objekte um eine Kupfer-Zinn-Legierung handelt. Die Gehalte an Kupfer schwanken zwischen 68,03–93,39 %, die Zinnkonzentrationen liegen zwischen 5,96 % und 25,22 %. Die höchsten Zinngehalte finden sich sämtlich bei den vier übrigen Schlangenfibeln aus dem Grab, die zwar durch das Vorhandensein von sehr viel Korrosionsprodukten auffallen, deren nicht normierte Zinnwerte aber bereits weit jenseits der 10 % liegen. Im Spurenelementgehalt zeigt sich eine breite Varianz (Abb. 2): Auffällig ist, dass Blei im Allgemeinen nur in vernachlässigbaren Anteilen vorhanden ist. Insgesamt weisen nur 14 Proben Gehalte über 1 % auf, nur zwei Proben liegen oberhalb von 2 % Pb-Gehalt. Diese geringen Gehalte belegen, dass für die untersuchten Werkstücke kein Bleizusatz zur Legierung erfolgte, obwohl es sich zu einem guten Teil um gegossene Objekte handelt. Signifikant ist aber gleichzeitig, dass die Bleche Bleigehalte unter 0,1 % aufweisen. Neben einem Niet, einem Anhänger und der Kupferfibel sind das die geringsten überhaupt nachgewiesenen Bleigehalte in dieser Probenreihe. Dies lässt an eine selektive Materialauswahl denken. Der Spurenelementgehalt weist, mit Ausnahme der Kupferfibel, auf sulfidische Kupfererze als Ausgangsmaterial für die Produktion hin, insgesamt sind die Gehalte der spezifischen Spurenelemente bei allen Proben zu gering, als dass von einer Fahlerzbasis

² Vergleich der logarithmierten und auf 100 % normierten Elementgehalte der Hochdorfer Proben in Form von Box-Whisker-Plots. Innerhalb der Box befinden sich die mittleren 50 % der Daten (2.–3. Quartil). Die „Whiskers“ geben die Variationsbreite aller gemessenen Konzentrationen wider. Darüber hinaus sind sowohl der arithmetische Mittelwert (Kreuz), als auch der Median (Längsstrich) aufgeführt.

⁴ Die Ergebnisse werden mit den normierten Werten vorgestellt.

Tabelle 2 Datenblatt der pauschalchemischen Analyse aller Proben. Fortsetzung S. 82–83.

Labornr. DBM	Ag in %	Au in %	Te in %	Bi in %	P in %	S in %	Fe in %	Co in %
4217_08	0,090	0,003	< 0.0005	0,114	0,007	0,138	1,568	0,011
4218_08	0,108	0,002	0,002	0,198	0,002	0,020	0,683	0,001
4220_08	0,071	0,003	0,001	0,122	0,001	0,063	0,290	0,013
4221_08	0,114	0,002	0,003	0,217	0,002	0,032	0,043	0,001
4222_08	0,107	0,003	0,002	0,282	0,014	0,135	2,901	0,001
4223_08	0,044	< 0.001	< 0.0005	0,003	0,004	0,231	0,125	0,004
4224_08	0,107	0,003	0,003	0,283	0,001	0,015	0,363	0,001
4225_08	0,117	0,003	0,001	0,314	0,002	0,023	0,014	0,001
4226_08	0,049	< 0.001	< 0.0005	0,005	0,001	0,143	0,046	0,009
4227_08	0,115	0,003	< 0.0005	0,287	0,001	0,059	0,069	0,001
4228_08	0,050	< 0.001	< 0.0005	0,003	0,001	0,205	0,343	0,004
4229_08	0,050	< 0.001	< 0.0005	0,004	0,001	0,129	0,031	0,008
4230_08	0,087	0,002	0,001	0,100	0,001	0,015	0,181	0,024
4231_08	0,049	< 0.001	< 0.0005	0,004	< 0.0005	0,166	0,025	0,004
4232_08	0,116	0,003	< 0.0005	0,293	0,003	0,069	0,637	0,001
4233_08	0,084	< 0.001	< 0.0005	0,002	0,001	0,058	0,012	0,004
4235_08	0,099	0,001	< 0.0005	0,098	0,001	0,088	0,009	0,008
4237_08	0,048	< 0.001	< 0.0005	0,001	0,001	0,129	0,010	0,004
4238_08	0,062	0,003	< 0.0005	0,002	0,037	0,097	0,747	0,006
4240_08	0,104	< 0.001	< 0.0005	0,001	0,002	0,224	0,128	0,006
4353_09	0,172	0,002	0,001	0,024	0,023	0,106	0,019	0,016
4354_09	0,226	0,001	0,001	0,211	0,892	0,100	0,202	0,000
4355_09	0,060	0,001	0,001	0,001	0,060	0,660	0,073	0,000
4356_09	0,465	0,006	0,004	0,056	0,470	1,957	0,899	0,004
4357_09	0,126	0,003	0,001	0,028	0,304	0,771	0,111	0,001
4358_09	0,162	0,004	0,003	0,031	0,407	0,673	0,212	0,003
4654_12	0,029	0,004	0,001	0,115	0,001	0,137	0,541	0,014
4655_12	0,067	0,002	0,004	0,278	0,000	0,012	0,070	0,011
4656_12	0,053	0,004	0,004	0,121	0,003	0,072	0,451	0,014
4657_12	0,054	0,004	0,003	0,114	0,000	0,086	0,053	0,014
4658_12	0,053	0,005	0,003	0,117	0,000	0,081	0,064	0,014
4659_12	0,065	0,002	0,002	0,259	0,000	0,028	0,047	0,007
4660_12	0,047	0,004	0,004	0,121	0,001	0,110	0,035	0,012
4661_12	0,067	0,002	0,005	0,299	0,001	0,012	0,090	0,012
4662_12	0,071	0,003	0,002	0,291	0,000	0,023	0,075	0,012
4663_12	0,066	0,002	0,005	0,304	0,000	0,011	0,069	0,011
4664_12	0,066	0,002	0,005	0,287	0,003	0,015	0,085	0,012
4665_12	0,074	0,001	0,001	0,082	0,001	0,325	0,006	0,010
4666_12	0,063	0,001	0,002	0,075	0,000	0,108	0,005	0,010
4667_12	0,061	0,001	0,001	0,078	0,001	0,098	0,005	0,009
4668_12	0,060	0,001	0,001	0,002	0,003	0,363	0,131	0,006
4669_12	0,068	0,002	0,005	0,314	0,008	0,009	0,085	0,012
4670_12	0,060	0,001	0,002	0,080	0,003	0,119	0,019	0,009
4671_12	0,063	0,001	0,001	0,082	0,001	0,106	0,009	0,009
4672_12	0,069	0,003	0,003	0,321	0,018	0,014	0,089	0,011

	Zn in %	Se in %	As in %	Pb in %	Cu in %	Sn in %	Sb in %	Ni in %	Hg in %	Summe in %
	0,004	0,003	0,140	0,79	86,98	10,05	0,011	0,093	0,001	100
	0,005	0,005	0,172	0,97	89,67	8,11	0,012	0,035	< 0,0005	100
	0,007	0,004	0,168	1,15	85,74	12,26	0,012	0,088	0,001	100
	0,003	0,005	0,194	0,88	90,36	8,10	0,011	0,035	< 0,0005	100
	0,002	0,005	0,159	0,95	86,23	9,17	0,010	0,035	0,001	100
	0,006	0,006	0,094	0,78	89,21	9,44	0,042	0,013	< 0,0005	100
	0,002	0,004	0,180	0,83	88,18	9,96	0,018	0,039	0,001	100
	0,002	0,005	0,197	1,04	88,86	9,37	0,011	0,037	0,001	100
	0,010	0,007	0,105	0,82	89,13	9,61	0,045	0,021	0,001	100
	0,002	0,004	0,201	0,87	88,27	10,07	0,011	0,036	0,001	100
	0,007	0,007	0,107	0,70	89,41	9,11	0,045	0,013	0,001	100
	0,010	0,008	0,107	0,69	89,05	9,84	0,044	0,021	0,001	100
	0,010	0,003	0,177	1,15	86,82	11,28	0,011	0,131	< 0,0005	100
	0,007	0,007	0,100	0,74	88,59	10,24	0,046	0,012	0,001	100
	0,002	0,004	0,176	0,86	88,00	9,79	0,010	0,032	0,001	100
	0,012	0,013	0,078	0,10	89,50	10,03	0,090	0,014	< 0,0005	100
	0,003	0,011	0,132	0,31	86,88	11,99	0,105	0,261	0,001	100
	0,008	0,012	0,014	0,04	93,39	6,31	0,019	0,015	0,001	100
	0,006	0,016	0,031	0,04	86,84	12,02	0,037	0,059	0,001	100
	0,007	0,012	0,057	0,06	85,72	13,59	0,058	0,028	0,001	100
	0,003	0,003	0,216	3,439	81,884	12,992	0,215	0,885	0,001	100
	0,026	0,000	0,194	0,981	76,30	20,72	0,137	0,006	0,001	100
	0,003	0,000	0,001	0,006	98,97	0,15	0,001	0,007	0,001	100
	0,008	0,003	0,704	1,325	68,03	25,22	0,773	0,074	0,001	100
	0,006	0,007	0,144	0,427	79,02	18,97	0,069	0,007	0,001	100
	0,005	0,014	0,265	0,406	75,89	21,82	0,094	0,016	0,001	100
	0,004	0,002	0,139	1,34	86,00	11,57	0,016	0,082	< 0,0001	100
	0,017	0,005	0,054	0,40	90,13	8,81	0,011	0,127	< 0,0001	100
	0,004	0,004	0,170	1,47	85,42	12,11	0,018	0,084	< 0,0001	100
	0,005	0,003	0,157	1,21	86,21	11,98	0,017	0,085	< 0,0001	100
	0,005	0,005	0,168	1,39	86,03	11,96	0,017	0,087	< 0,0001	100
	0,010	0,003	0,047	0,37	90,59	8,45	0,010	0,104	< 0,0001	100
	0,004	0,003	0,147	1,18	86,37	11,85	0,022	0,089	< 0,0001	100
	0,017	0,005	0,057	0,45	89,71	9,13	0,011	0,130	< 0,0001	100
	0,015	0,004	0,049	0,45	90,50	8,36	0,011	0,135	< 0,0001	100
	0,016	0,004	0,060	0,50	89,95	8,86	0,011	0,123	< 0,0001	100
	0,014	0,004	0,060	0,44	90,79	8,06	0,011	0,138	< 0,0001	100
	0,002	0,012	0,238	0,80	90,67	7,46	0,169	0,148	< 0,0001	100
	0,002	0,012	0,118	0,30	86,93	12,02	0,099	0,251	< 0,0001	100
	0,001	0,012	0,115	0,31	87,78	11,20	0,095	0,236	< 0,0001	100
	0,006	0,014	0,017	0,07	85,83	13,43	0,043	0,019	< 0,0001	100
	0,018	0,005	0,061	0,52	89,41	9,34	0,012	0,131	< 0,0001	100
	0,005	0,011	0,113	0,31	87,42	11,51	0,096	0,245	< 0,0001	100
	0,002	0,012	0,127	0,32	89,17	9,75	0,098	0,249	< 0,0001	100
	0,014	0,006	0,058	0,59	89,94	8,72	0,012	0,130	< 0,0001	100

Fortsetzung Tabelle 2

Labornr. DBM	Ag in %	Au in %	Te in %	Bi in %	P in %	S in %	Fe in %	Co in %
4673_12	0,062	0,001	0,001	0,077	0,000	0,108	0,004	0,009
4674_12	0,059	0,001	0,001	0,003	0,000	0,126	0,339	0,004
4675_12	0,054	0,001	0,001	0,113	0,002	0,356	0,004	0,013
4676_12	0,032	0,001	0,001	0,002	0,017	0,170	5,761	0,007
4677_12	0,043	0,000	0,001	0,002	0,002	0,190	0,022	0,006
4678_12	0,063	0,001	0,001	0,002	0,002	0,341	0,391	0,006
4679_12	0,046	0,003	0,002	0,027	0,178	0,086	1,061	0,024
4680_12	0,062	0,003	0,001	0,074	0,160	0,163	0,167	0,041
4681_12	0,016	0,000	0,001	0,002	0,062	0,317	0,032	0,038
4682_12	0,054	0,001	0,001	0,002	0,000	0,264	0,007	0,007
4683_12	0,068	0,001	0,001	0,033	0,000	0,556	0,027	0,117
4684_12	0,067	0,001	0,001	0,030	0,000	0,516	0,023	0,120
4685_12	0,054	0,001	0,001	0,002	0,014	0,156	0,034	0,006
4686_12	0,074	0,003	0,002	0,427	0,001	0,036	0,032	0,008
4687_12	0,067	0,001	0,001	0,002	0,144	0,545	0,453	0,003
4688_12	0,060	0,001	0,001	0,002	0,000	0,331	1,254	0,006
4689_12	0,049	0,001	0,001	0,002	0,005	0,355	0,203	0,004
4690_12	0,054	0,001	0,001	0,002	0,000	0,297	0,345	0,007
4691_12	0,038	0,000	0,001	0,001	0,009	0,903	0,008	0,001
4808_13	0,037	0,002	0,003	0,009	0,007	0,079	0,090	0,022
4809_13	0,071	0,003	0,004	0,010	0,006	0,111	0,101	0,020
4810_13	0,048	0,000	0,006	0,010	0,005	0,104	0,112	0,026
4811_13	0,028	0,000	0,007	0,008	0,003	0,029	0,148	0,031
4812_13	0,153	0,000	0,007	0,010	0,025	0,068	0,112	0,023
4643_14	0,130		0,011	0,021	0,026	0,004	0,108	0,062
4644_14	0,090		0,009	0,105	0,005	0,017	0,044	0,026
4645_14	0,427		0,008	0,018	0,004	0,013	0,011	0,037
4646_14	0,181		0,007	0,006	0,065	0,035	0,014	0,014
4647_14	0,095		0,011	0,065	0,013	0,089	0,005	0,006
4649_14	0,428		0,006	0,011	0,004	0,061	0,249	0,239
4650_14	0,257		0,010	0,036	0,002	0,008	0,004	0,016
4651_14	0,116		0,008	0,079	0,015	0,024	0,070	0,013
4652_14	0,008		0,012	0,004	0,003	0,000	0,011	0,015
4653_14	0,219		0,008	0,020	0,021	0,024	0,009	0,049
4654_14	0,083		0,012	0,171	0,029	0,035	0,016	0,020
4655_14	0,036		0,005	0,002	0,005	0,049	0,005	0,001

ausgegangen werden könnte. Die sehr geringen Verunreinigungen der Kupferfibel weisen hingegen eher auf einen oxidischen Erzkörper als Rohmaterial hin.

Ähnlich wie bei den Voranalysen zeigen die Ergebnisse der pauschalchemischen Untersuchungen des erweiterten Probenbestandes eine hohe Variabilität (Abb. 3). Die vorgenommene multivariate Analyse belegt dies deutlich. Es lassen sich insgesamt zehn Cluster differenzieren, wobei die Cluster 6–10 aus jeweils nur

einer Probe bestehen und somit Einzelfälle darstellen (Abb. 4). Cluster 7 beispielsweise besteht aus der Kupferfibel, die sich gemäß ihrem Spurenelementgehalt deutlich von den anderen Objekten unterscheidet. Die restlichen fünf Cluster gruppieren wieder relativ eindrücklich nach Konstruktionsteilen. In Cluster 1 finden sich Niete und Trägerfiguren sowie zwei Funde aus der Hochdorfer Siedlung, in Cluster 2 hingegen ausschließlich Trägerfiguren und in Cluster 3 Trägerfiguren sowie zwei Schlan-

	Zn in %	Se in %	As in %	Pb in %	Cu in %	Sn in %	Sb in %	Ni in %	Hg in %	Summe in %
	0,001	0,011	0,115	0,31	87,35	11,60	0,097	0,244	< 0,0001	100
	0,009	0,014	0,069	0,11	87,78	11,39	0,082	0,013	< 0,0001	100
	0,002	0,009	0,228	0,79	92,14	5,96	0,167	0,170	< 0,0001	100
	0,014	0,007	0,040	0,08	84,34	9,48	0,024	0,025	< 0,0001	100
	0,003	0,011	0,012	0,04	87,06	12,53	0,040	0,040	< 0,0001	100
	0,004	0,004	0,006	0,07	86,96	12,10	0,035	0,018	< 0,0001	100
	0,011	0,001	0,190	1,06	90,65	6,57	0,050	0,038	< 0,0001	100
	0,020	0,001	0,259	2,65	89,06	7,17	0,097	0,076	< 0,0001	100
	0,002	< 0,0004	0,076	0,25	88,14	10,81	0,055	0,201	< 0,0001	100
	0,005	0,027	0,025	0,07	86,78	12,69	0,048	0,022	< 0,0001	100
	0,001	0,005	0,106	1,17	85,18	10,56	0,108	2,077	< 0,0001	100
	0,002	0,005	0,111	1,11	85,50	10,33	0,104	2,091	< 0,0001	100
	0,012	0,002	0,031	0,06	86,75	12,79	0,063	0,023	< 0,0001	100
	0,010	0,003	0,036	0,62	89,20	9,43	0,011	0,106	< 0,0001	100
	0,003	0,004	0,005	0,09	87,18	11,46	0,032	0,009	< 0,0001	100
	0,004	0,022	0,018	0,07	85,36	12,81	0,048	0,022	< 0,0001	100
	0,002	0,005	0,008	0,05	88,76	10,50	0,039	0,019	< 0,0001	100
	0,005	0,021	0,017	0,06	86,68	12,44	0,045	0,022	< 0,0001	100
	0,001	0,012	0,013	0,04	89,26	9,69	0,028	0,002	< 0,0001	100
	0,006	0,004	0,123	0,069	90,501	9,012	0,004	0,030		100
	0,005	0,003	0,111	0,080	89,925	9,518	0,005	0,028		100
	0,003	0,002	0,140	0,077	93,374	6,039	0,015	0,040		100
	0,003	0,002	0,125	0,081	94,086	5,387	0,012	0,050		100
	0,003	0,002	0,141	0,092	93,031	6,267	0,027	0,039		100
	0,008	0,000	0,14	0,64	87,41	10,38	0,17	0,886		100
	0,009	0,000	0,15	2,97	88,59	7,76	0,10	0,120		100
	0,005	0,000	0,53	1,57	91,50	3,59	1,60	0,690		100
	0,003	0,000	0,21	0,45	88,27	9,77	0,61	0,352		100
	0,008	0,000	0,15	1,39	88,55	9,47	0,04	0,117		100
	0,022	0,000	1,08	1,11	87,68	3,05	4,19	1,869		100
	0,007	0,000	0,42	1,10	87,19	9,97	0,64	0,336		100
	0,009	0,000	0,35	2,82	85,29	10,86	0,21	0,137		100
	0,022	0,000	0,08	1,07	91,17	7,56	0,01	0,028		100
	0,003	0,000	0,26	0,38	88,08	10,16	0,37	0,399		100
	0,010	0,000	0,08	2,44	88,97	8,06	0,03	0,047		100
	0,002	0,000	0,01	0,28	89,16	10,38	0,05	0,004		100

genfibeln aus dem Grab, während in Cluster 4 zwar alle Bleche, aber ebenfalls die Griffe und ein Anhänger gruppieren. Der mit drei Proben kleinste Gruppencluster 5 besteht aus der Feinwaage aus der Siedlung Hochdorf „Reps“ und zwei Proben von Anhängern der Sitzbank.

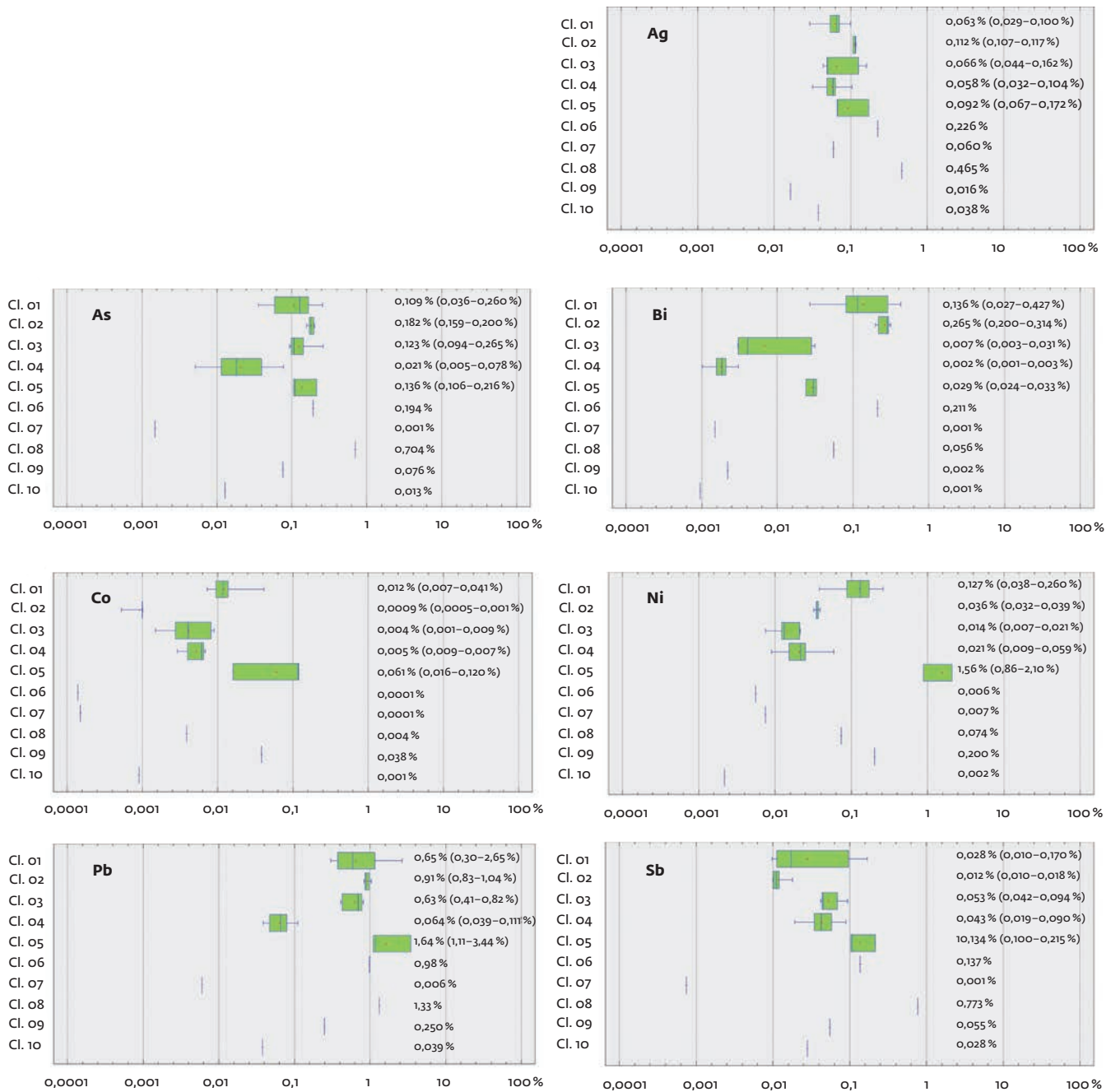
Cluster 1

Dieser Cluster besteht aus Proben von acht Trägerfiguren, 17 Nieten sowie dem Draht und dem Ring aus der jüngeren Siedlung. Die Ob-

jekte dieses Clusters zeichnen sich durch geringe Silber- und hohe Bismut-Gehalte aus. Die Bismut-Konzentrationen schwanken zwischen 0,027 5 und 0,427 % (\bar{x} 0,136 %), neun Proben liegen oberhalb von 0,2 %.

Cluster 2

In diesem Cluster gruppieren sieben Trägerfiguren, die sich durch erhöhte Silbergehalte sowie die durchschnittlich höchsten Bismutgehalte auszeichnen. Im Gegensatz zu Cluster 1



3 Vergleich der Unterschiede in den Spurenelementgehalten der definierten Cluster der Hochdorfer Proben mittels Box-Whisker-Plots. Silbergehalte (Ag); Arsengehalte (As); Bismutgehalte (Bi); Kobaltgehalte (Co); Nickelgehalte (Ni); Blei-gehalte (Pb); Antimon-gehalte (Sb).

sind in dieser Gruppe die Bleiwerte leicht erhöht.

Cluster 3

Weitere fünf Trägerfiguren sowie zwei Schlangenfibeln aus dem Grab liegen in diesem Cluster. Sie weisen geringe Silber- und Bismutkonzentrationen auf.

Cluster 4

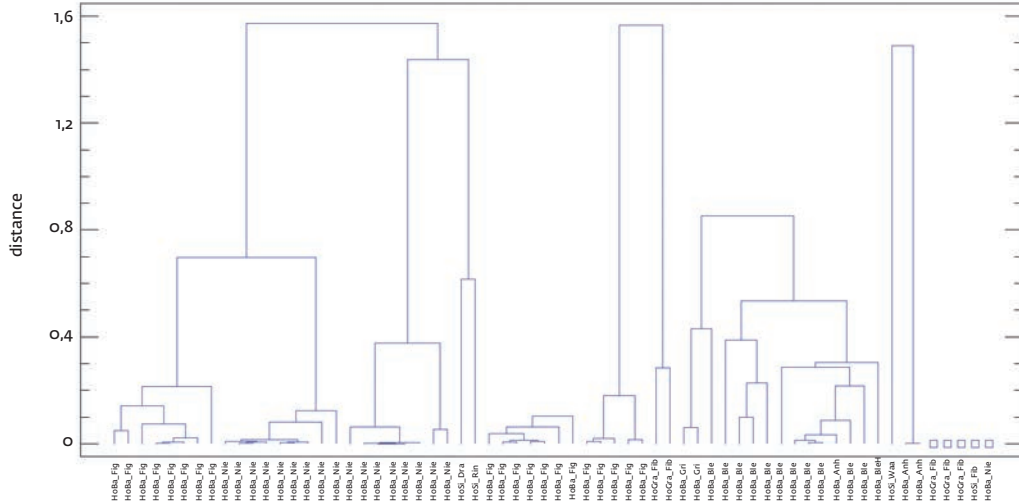
Dieser Cluster besteht aus den Proben der beiden Griffe sowie allen Blechproben und einem Kettenanhänger. Die Konzentration von Silber, Bismut, Arsen und Blei sind gering.

Cluster 5

Die drei Proben dieses Clusters – die Feinwaage aus der Siedlung sowie zwei Anhänger von der Sitzbank – weisen erhöhte Silber-, Antimon-, Nickel- und Cobaltgehalte, geringe Bismutkonzentrationen und die höchsten Anteile an Blei auf.

Cluster 6

Der erste Einzelfallecluster ist die Analyse einer Schlangenfibel aus dem Grab (Hansen 2010, Kat.-Nr. 312), die sich durch hohe Silber- und Bismutgehalte sowie eine geringe Nickelkonzentration auszeichnet.



4 Clusteranalyse mit Differenzierung der 10 unterschiedlichen Cluster des Hochdorfer Probenmaterials.

5 Bleisotopen-Verhältnisse der Hochdorfer Proben (²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb gegen ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb).

Cluster 7

Dieser Cluster besteht ausschließlich aus der bereits erwähnten Kupferfibel. Die Alleinstellung dieser Fibel beruht auf den sehr geringen Verunreinigungen, die das Kupfermetall aufweist, was die Fibel analytisch recht deutlich von den anderen Objekten abhebt.

Cluster 8

In diesem Cluster findet sich eine weitere Schlangenfibel aus dem Grab (Hansen 2010, Kat.-Nr. 327), die sich im Gegensatz zum Exemplar in Cluster 6 durch hohe Silber-, Arsen-, Blei- und Antimongehalte auszeichnet.

Cluster 9

Die Fibel aus der Hochdorfer Siedlung befindet sich aufgrund ihrer geringen Silber-, Bismut-, Arsen- und Bleikonzentrationen in einem eigenen Cluster.

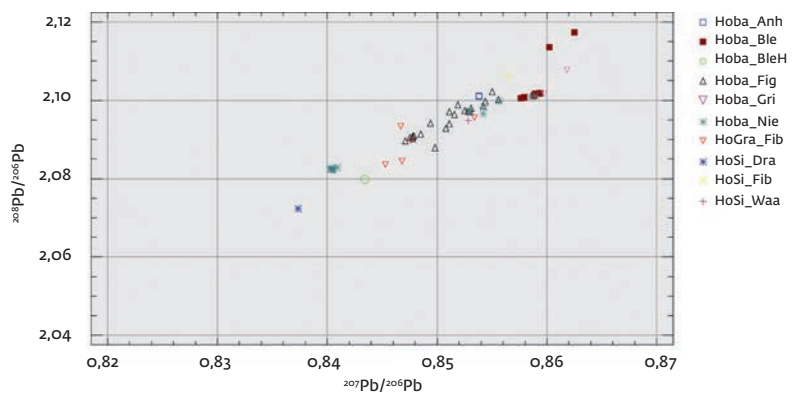
Cluster 10

Bei der Probe in diesem Cluster handelt es sich um eine Neuverprobung eines Niets aus den Restaurierungsresten des LMW. Ähnlich wie in Cluster 7 weist die Probe insgesamt recht geringe Spurenelementgehalte auf, aber im Gegensatz zu der Kupferfibel zeigt die Analyse des Niets aus Cluster 10 geringere Silbergehalte und höhere Arsen-, Blei- und Antimonkonzentrationen.

Analyse der Bleisotopenverhältnisse

Die bereits im Rahmen der pauschalchemischen Analysen festgestellten materialtechnischen Unterschiede der Konstruktionsteile der Sitzbank spiegeln sich auch in den Ergebnissen der bleisotopischen Untersuchungen (Tab. 3) wider.

Grundsätzlich lassen sich drei große Felder sowie einige Einzelgruppen feststellen (Abb. 5–6). In der bleisotopisch ältesten Gruppe befinden sich die Proben der Bleche und



der Griffe sowie zweier Nieten der Hochdorfer Sitzbank. Die drei bei dem Isotopenverhältnis ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb oberhalb von 0,86 liegenden Proben (zwei Bleche, ein Griff) scheinen auf den ersten Blick nicht zu dieser Gruppe zu zählen. Sie gehören jedoch zu der ersten Analysephase, bei der die Messung mittels Singlekollektor erfolgte. Aufgrund der höheren Messgenauigkeit erscheint es legitim, diese Proben dem ansonsten eng umgrenzten Feld der restlichen Blech- und Griffanalysen zuzuordnen.

Die zweite und mengenmäßig stärkste Gruppe ist in ihrer Bildungszeit etwas jünger und enthält sämtliche Proben der Trägerfiguren, der Attaschen und Anhänger sowie einige weitere Niete. Diese Gruppe bildet ein großes zusammenhängendes Feld, welches im Wesentlichen durch die Ergebnisse der Analysen der Trägerfiguren bestimmt wird.

Die dritte und bildungsgeschichtlich jüngste Gruppe enthält ausschließlich Niete.

Das ebenfalls beprobte Blech des Eisenhakens (Tab. 1, 4676_12) liegt interessanterweise weder in der Gruppe der Bleche, noch lässt es sich einer anderen Gruppierung zuordnen und bildet somit ebenfalls eine eigene Gruppe.

Die Bleisotopenanalysen der anderen beprobten Hochdorfer Objekte lassen sich zum Teil den an der Sitzbank von Hochdorf festge-

Tabelle 3 Datenblatt der Bleisotopenanalysen aller Proben. Fortsetzung S. 87.

Labornr. DBM	Pb208/ Pb206	Pb206/ Pb204	Pb207/ Pb204	Pb208/ Pb204	Pb207/ Pb206	Pb204/ Pb206
4217_08	2,094	18,484	15,701	38,710	0,849	0,054
4218_08	2,088	18,400	15,636	38,416	0,850	0,054
4220_08	2,090	18,471	15,658	38,610	0,848	0,054
4221_08	2,093	18,388	15,644	38,483	0,851	0,054
4222_08	2,094	18,406	15,665	38,546	0,851	0,054
4223_08	2,098	18,313	15,623	38,422	0,853	0,055
4224_08	2,097	18,399	15,658	38,586	0,851	0,054
4225_08	2,096	18,415	15,681	38,605	0,852	0,054
4226_08	2,099	18,354	15,678	38,520	0,854	0,054
4227_08	2,099	18,388	15,664	38,594	0,852	0,054
4228_08	2,102	18,323	15,666	38,519	0,855	0,055
4229_08	2,100	18,318	15,673	38,471	0,856	0,055
4230_08	2,091	18,452	15,656	38,590	0,849	0,054
4231_08	2,100	18,339	15,668	38,506	0,854	0,055
4232_08	2,097	18,374	15,663	38,536	0,852	0,054
4233_08	2,108	18,295	15,766	38,560	0,862	0,055
4235_08	2,097	18,338	15,665	38,449	0,854	0,055
4237_08	2,117	18,306	15,788	38,762	0,863	0,055
4238_08	2,114	18,355	15,789	38,793	0,860	0,054
4240_08	2,101	18,251	15,657	38,344	0,858	0,055
4353_09	2,095	18,355	15,652	38,452	0,853	0,054
4354_09	2,090	18,500	15,680	38,660	0,848	0,054
4355_09	2,084	18,496	15,662	38,554	0,847	0,054
4356_09	2,096	18,364	15,672	38,485	0,853	0,054
4357_09	2,093	18,604	15,752	38,946	0,847	0,054
4358_09	2,084	18,555	15,683	38,661	0,845	0,054
4654_12	2,091	18,492	15,678	38,664	0,848	0,054
4655_12	2,082	18,669	15,689	38,878	0,840	0,054
4656_12	2,091	18,493	15,680	38,669	0,848	0,054
4657_12	2,091	18,486	15,672	38,648	0,848	0,054
4658_12	2,090	18,509	15,679	38,679	0,847	0,054
4659_12	2,083	18,667	15,691	38,876	0,841	0,054
4660_12	2,091	18,503	15,682	38,684	0,848	0,054
4661_12	2,082	18,671	15,691	38,880	0,840	0,054
4662_12	2,082	18,673	15,693	38,886	0,840	0,054
4663_12	2,083	18,668	15,689	38,876	0,840	0,054
4664_12	2,082	18,675	15,693	38,886	0,840	0,054
4665_12	2,100	18,280	15,641	38,384	0,856	0,055
4666_12	2,097	18,349	15,650	38,482	0,853	0,054
4667_12	2,101	18,205	15,629	38,247	0,858	0,055
4668_12	2,097	18,346	15,647	38,471	0,853	0,055
4669_12	2,082	18,670	15,689	38,875	0,840	0,054
4670_12	2,097	18,344	15,647	38,469	0,853	0,055
4671_12	2,097	18,346	15,649	38,478	0,853	0,055
4672_12	2,083	18,672	15,692	38,887	0,840	0,054

Fortsetzung Tabelle 3

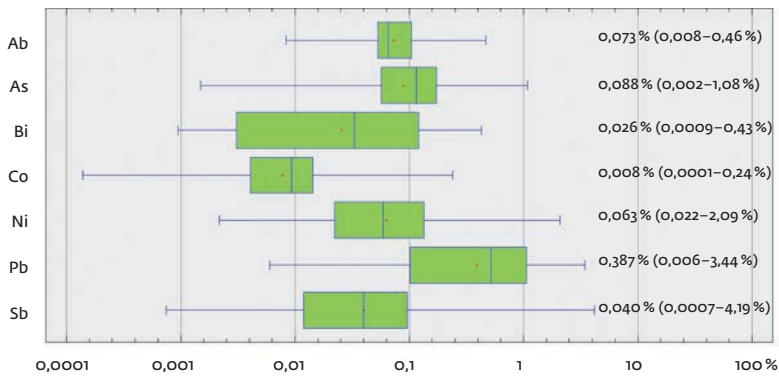
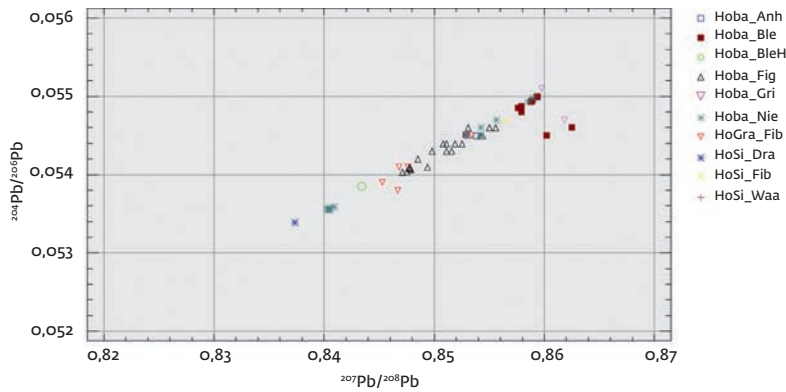
Labornr. DBM	Pb208/ Pb206	Pb206/ Pb204	Pb207/ Pb204	Pb208/ Pb204	Pb207/ Pb206	Pb204/ Pb206
4673_12	2,097	18,343	15,644	38,464	0,853	0,055
4674_12	2,102	18,147	15,602	38,140	0,860	0,055
4675_12	2,098	18,315	15,645	38,433	0,854	0,055
4676_12	2,080	18,570	15,663	38,621	0,843	0,054
4677_12	2,101	18,233	15,637	38,299	0,858	0,055
4678_12	2,102	18,199	15,632	38,250	0,859	0,055
4679_12	2,072	18,729	15,683	38,814	0,837	0,053
4680_12						
4681_12	2,106	18,288	15,664	38,519	0,856	0,055
4682_12	2,102	18,184	15,626	38,220	0,859	0,055
4683_12	2,101	18,353	15,669	38,560	0,854	0,054
4684_12	2,101	18,352	15,669	38,557	0,854	0,054
4685_12	2,101	18,207	15,636	38,256	0,859	0,055
4686_12	2,083	18,662	15,692	38,870	0,841	0,054
4687_12	2,102	18,183	15,625	38,216	0,859	0,055
4688_12	2,102	18,181	15,624	38,213	0,859	0,055
4689_12	2,101	18,225	15,636	38,284	0,858	0,055
4690_12	2,101	18,206	15,635	38,252	0,859	0,055
4691_12	2,101	18,188	15,623	38,217	0,859	0,055
4808_13	2,076	18,674	15,668	38,760	0,839	0,054
4809_13	2,075	18,694	15,670	38,786	0,838	0,053
4810_13	2,071	18,697	15,663	38,727	0,838	0,053
4811_13	2,070	18,703	15,661	38,722	0,837	0,053
4812_13	2,072	18,685	15,664	38,719	0,838	0,054
4643_14	2,095	18,395	15,665	38,543	0,852	0,054
4644_14	2,081	18,628	15,672	38,768	0,841	0,054
4645_14	2,105	18,247	15,662	38,408	0,858	0,055
4646_14	2,102	18,309	15,652	38,488	0,855	0,055
4647_14	2,104	18,320	15,662	38,541	0,855	0,055
4649_14	2,104	18,305	15,659	38,509	0,855	0,055
4650_14	2,094	18,417	15,666	38,565	0,851	0,054
4651_14	2,088	18,533	15,672	38,698	0,846	0,054
4652_14	2,077	18,758	15,686	38,968	0,836	0,053
4653_14	2,090	18,422	15,654	38,494	0,850	0,054
4654_14	2,096	18,388	15,669	38,535	0,852	0,054
4655_14	2,097	18,420	15,688	38,633	0,852	0,054

stellten Gruppen zuordnen (Abb. 5–6). Die Analysen der Schlangenfibel aus dem Grab bilden zwei Gruppen, wobei der größere Teil der Proben in eine Gruppe fällt, welche jedoch mit dem großen Feld der Gruppe, die auch die Trägerfiguren einschließt (s. o.), deckungsgleich sind. Gleiches gilt mit einer Ausnahme für die Funde aus der Siedlung. Lediglich der beprobte Draht muss gemäß seinem Bleiisotopenverhältnis in einer Einzelgruppe erfasst werden. Grundsätz-

lich zeigt sich, dass mit einer großen Varianz der Provenienz der Rohmaterials zu rechnen ist.

Analyse unter Einbeziehung des Referenzmaterials

Auf Basis der für das Hochdorfer Fundmaterial erzielten Ergebnisse wurde auch das Referenzmaterial, die Analysen der Golasacca-Objekte und der Situla von Kappel in die Auswertung miteinbezogen (Tab. 2–3).



6 Bleiisotopen-Verhältnisse der Hochdorfer Proben ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

7 Vergleich der logarithmierten und auf 100 % normierten Elementgehalte aller untersuchten Proben in Form von Box-Whisker-Plots.

Analyse der Pauschalchemie

Die Varianz in den Spurenelementen erweitert sich geringfügig (Abb. 7), die Gruppierung der Proben verhält sich größtenteils analog zur Clusterung der besprochenen Proben aus Hochdorf (Abb. 8). Durch die Einbeziehung der Proben aus Kappel, die einen eigenen Cluster bilden (und deren Materialcharakteristika daher innerhalb der Clusterbeschreibung diskutiert werden) erhöht sich die Clusteranzahl jedoch auf elf (Abb. 9).

Cluster 1

Dieser Cluster besteht aus den Proben aus Hochdorf, die in den Cluster 1 gruppieren sowie den Golasecca-Proben aus Cluster 2.

Cluster 2

Entspricht vollständig dem Cluster 2 der Hochdorfer Proben.

Cluster 3

In diesem Cluster gruppieren der Cluster 3 der Hochdorf Proben sowie die Schlangenfibel aus dem Cluster 4 der Golasecca-Proben.

Cluster 4

Auch dieser Cluster entspricht dem Cluster 4 der Hochdorfer Proben. Zusätzlich gruppieren in diesen Cluster zwei weitere Objekte. Dabei handelt es sich um eine Schlangenfibel aus dem Golaseccamaterial, die dort in Cluster 5 gelegen hat sowie um den in Cluster 10 der Hochdorfer Proben fallenden Niet (Tab. 1, 4691_12).

Cluster 5

Dieser Cluster besteht aus dem Hochdorfer Cluster 5 sowie dem Cluster 1 der Golasecca Proben.

Cluster 6–9

Diese Cluster entsprechen den Hochdorfer Clustern.

Cluster 10

In diesen Cluster gruppieren alle Proben der Situla aus Kappel. Bei dem zur Herstellung dieser Situla verwendeten Metall handelt es sich um eine Kupfer-Zinn-Legierung in annähernd idealer Zusammensetzung, insofern entspricht sie dem restlichen Fundbestand dieser Untersuchungsserie. Die Kupfergehalte schwanken zwischen 89,93–94,09 % (\bar{x} 92,2 %), während die Zinnkonzentrationen bei 5,4–9,5 % (\bar{x} 7,2 %) liegen. Der Cluster zeichnet sich insgesamt durch wenig Verunreinigung aus, die Gehalte an Silber, Bismut, Blei und Antimon sind gering.

Cluster 11

Hierbei handelt es sich um den Cluster 3 der Golasecca Proben.

Aufgrund der Tatsache, dass die Frage im Raum steht, ob der Handwerker, der das Hochdorfer Sitzmöbel geschaffen hat, als Rohmaterial womöglich Bleche von Situlen wiederverwendet hat, wurde vor dem Hintergrund der negativen Korrelation mit der Situla aus Kappel, weiteres Material in die Betrachtung miteinbezogen. Es handelt sich dabei um die publizierten Analysen eines etruskischen Rundthrons (Jurteit 1990) sowie eines Depotfundes aus Arbedo, TI (Northover 1998) und einer Probenserie verschiedener Provenienz, die im Rahmen der Untersuchungen der Funde von Castaneda GR (Northover 2012) vorgelegt wurde.

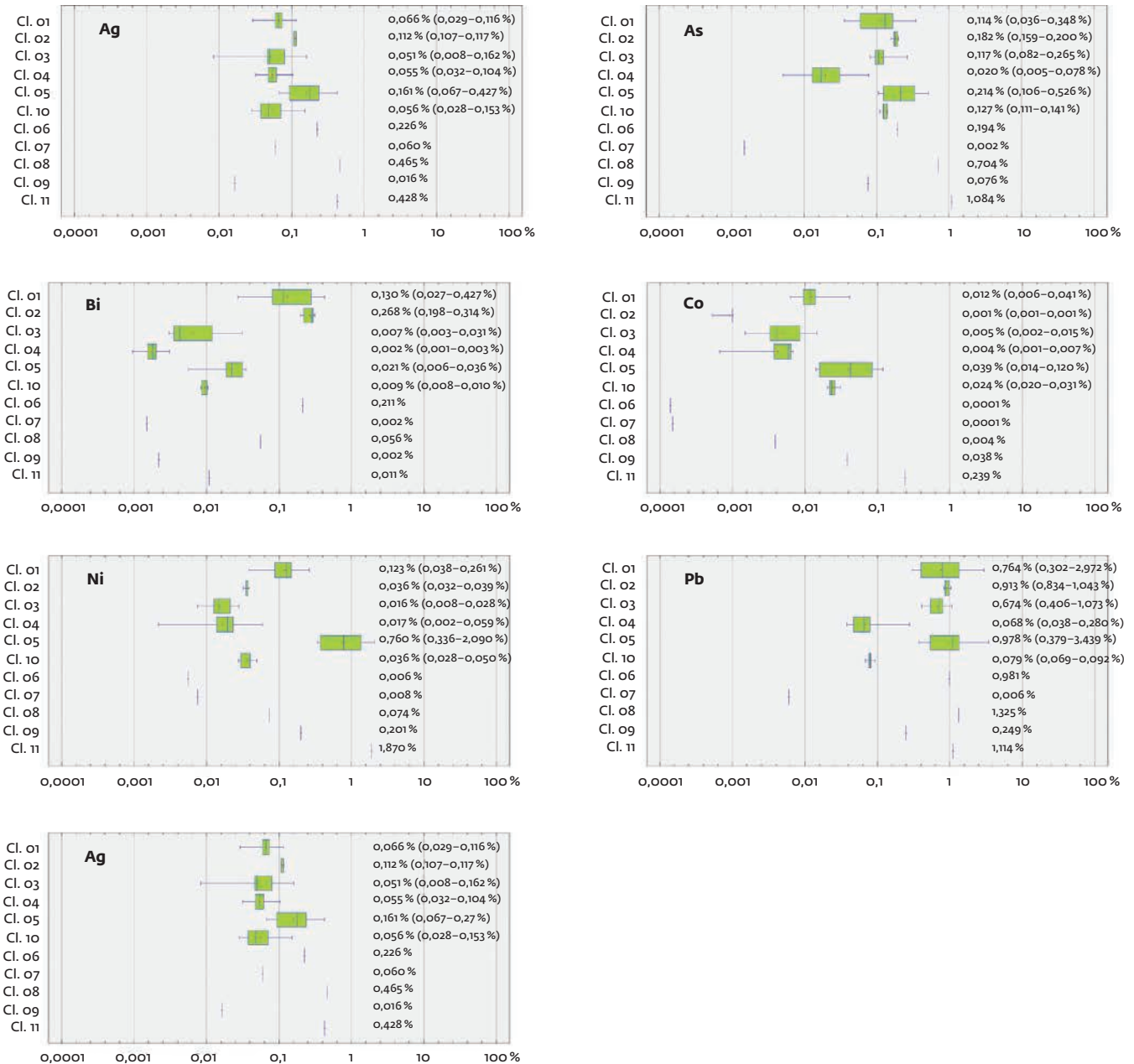
Die Clusterung der Analysen des etruskischen Throns erbrachte, analog zu dem Vergleich der Situla aus Kappel, einen weiteren Cluster (Abb. 10). Eine Kontextuierung mit den Hochdorfer Proben ist entsprechend und analog zu den Vergleichsproben aus Kappel nicht gegeben.

Nach Kontextuierung der Proben von Situlen und Bronzegefäßen aus dem Hortfund von Arbedo, TI (Northover 1998) zeigt sich hingegen ein anderes Bild. Einige der Proben von Arbedo gruppieren in Cluster, in denen sich auch das Hochdorfer Material zusammenfasst (Abb. 11). Dies gilt für die Cluster 1, 3 und 5.

Während in Cluster 1 sechs Proben aus Arbedo gruppieren, findet sich in den anderen Clustern jedoch jeweils nur eine Probe.

Cluster 10 enthält nun neben den Proben aus Kappel ebenfalls sieben Proben aus Arbedo.

Die restlichen Proben aus Arbedo lassen sich weder den Proben aus Hochdorf, noch jenen



der Golasecca-Vergleichsfunde zuordnen. Sie bilden zwei neue Cluster, Cluster 12 (7 Proben) und 13 (6 Proben).

Cluster 12

Der Cluster besteht aus vier Proben von Situlen, drei Proben von Bronzegefäßen und einer Probe eines recycelten Blechs aus dem Depot von Arbedo. Dieser Cluster ist im Wesentlichen dadurch charakterisiert, dass er keine Bismut-Gehalte aufweist.

Cluster 13

In diesen Cluster gruppieren insgesamt vier Proben von Situlen und zwei Proben von Kesseln aus dem Depot von Arbedo. Die Proben der Situlen stammen von Rand, Körper und Appliken, während die beiden Proben der Kes-

sel von Boden bzw. Niet und Körper des Objekts stammen.

Der Rest der Proben aus Arbedo gruppiert in Zweier- oder Einzelcluster, wobei die Einzelcluster mit neun Stück überwiegen, lediglich vier Proben befinden sich in den beiden Zweierclustern.

Auffällig ist, dass einige Proben selber Objektprovenienz in unterschiedliche Cluster gruppieren. Dies kann unterschiedliche Ursachen haben, allerdings postuliert der Autor bereits eine systematische Unschärfe bezüglich der Arsengehalte, da die Proben per Mikrosonde analysiert wurden. Dadurch und insbesondere im Vergleich mit einer ICP-MS-Analyse wie sie für den Probenbestand aus Hochdorf sowie der Golasecca-Funde verwendet

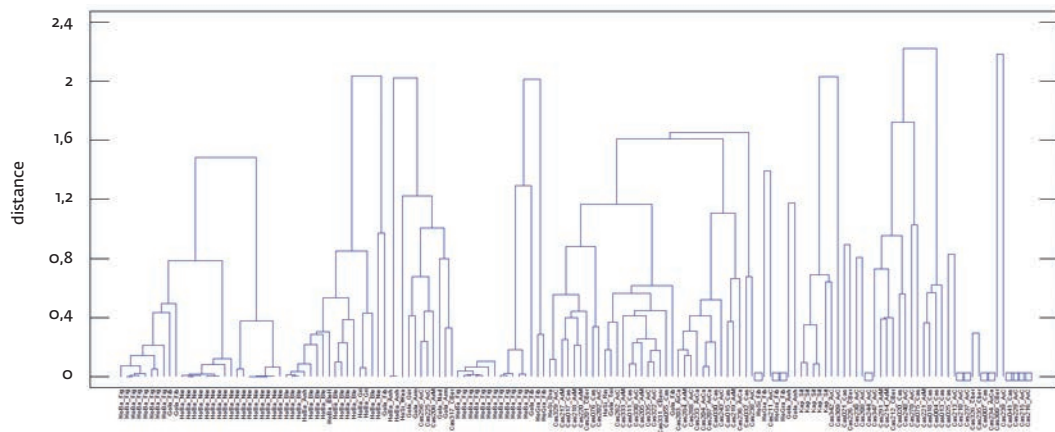
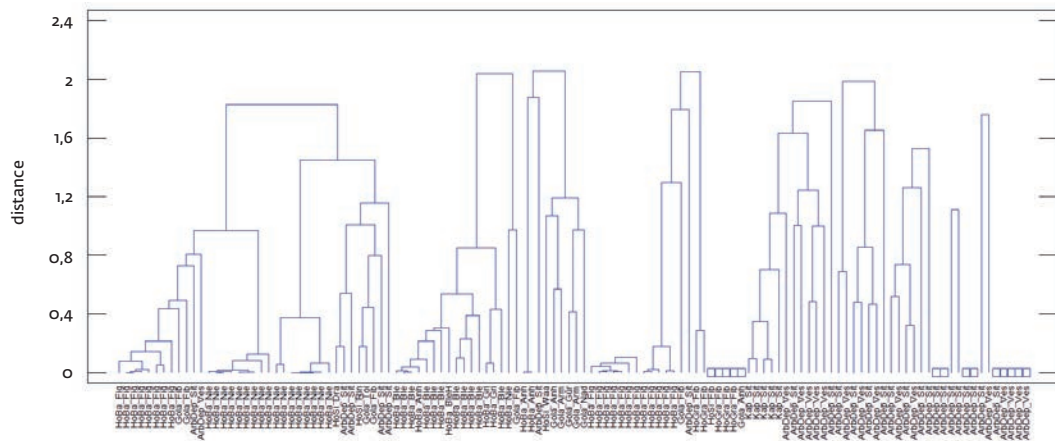
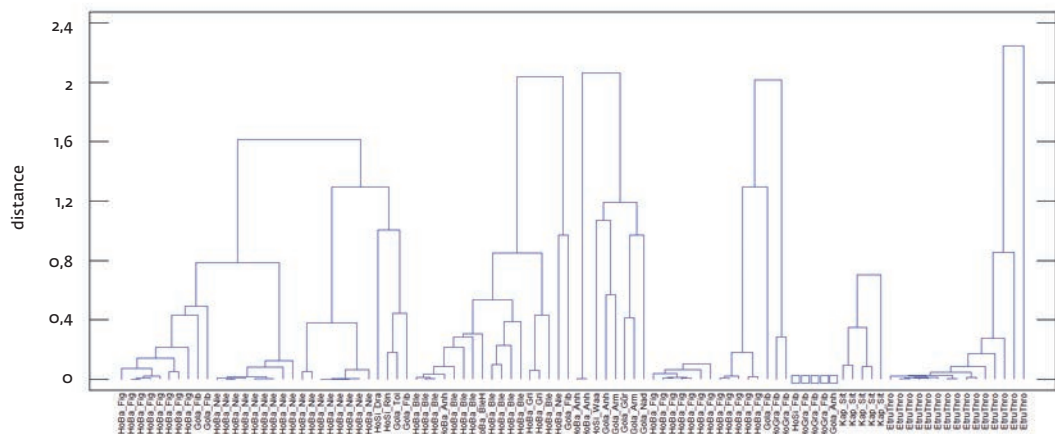
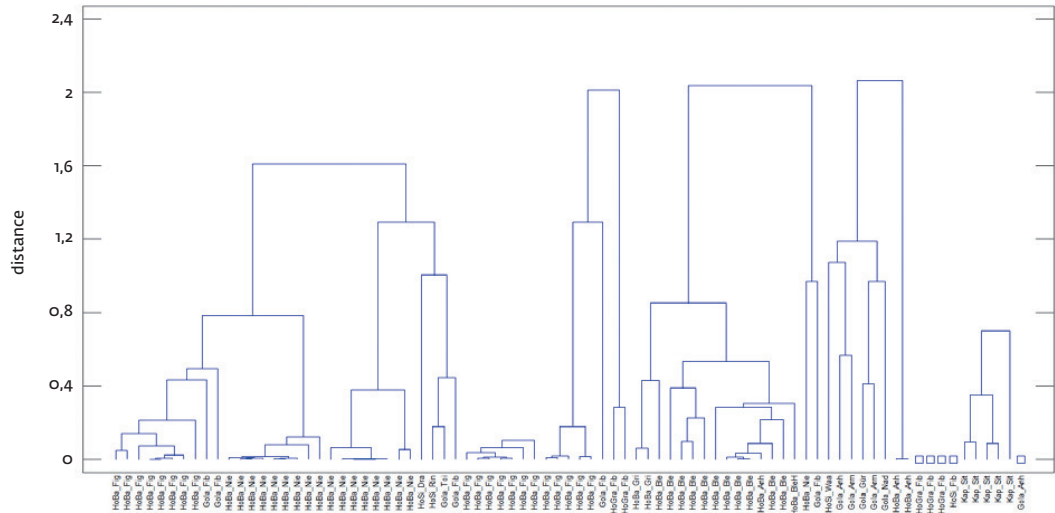
8 Vergleich der Unterschiede in den Spurenelementgehalten der definierten Cluster aller Proben mittels Box-Whisker-Plots. Silbergehalte (Ag); Arsengehalte (As); Bismutgehalte (Bi); Kobaltgehalte (Co); Nickelgehalte (Ni); Bleigehalte (Pb); Antimonergehalte (Sb).

9 Clusteranalyse mit Differenzierung der 11 unterschiedlichen Cluster des Gesamtprobenbestandes.

10 Clusteranalyse mit Differenzierung der 10 unterschiedlichen Cluster des Hochdorfer Probenmaterials unter Einbeziehung der Vergleichsfunde (Golasecca, Kappel, Etruskischer Rundthron; Datenbasis: Jurgeit 1990).

11 Clusteranalyse mit Differenzierung der 10 unterschiedlichen Cluster des Hochdorfer Probenmaterials unter Einbeziehung der Vergleichsfunde (Golasecca, Kappel, Depot Arbedo TI; Datenbasis: Schindler u. a. 1998).

12 Clusteranalyse mit Differenzierung der 10 unterschiedlichen Cluster des Hochdorfer Probenmaterials unter Einbeziehung der Vergleichsfunde (Golasecca, Kappel, Castenada, Arbedo, Castione; Datenbasis: Nagy u. a. 2012).



wurde, kann es daher zu unterschiedlichen Gruppierungen des Materials kommen. Weitere einzubeziehende Faktoren sind der punktuelle Charakter einer Mikrosondenanalyse, wodurch örtliche Anreicherungen einzelner Elemente die Materialcharakterisierung beeinflussen können sowie die Möglichkeit der Verwendung unterschiedlichen Ausgangsmaterials.

Der Vergleich mit den beprobten Blechen von Bronzegefäßen aus dem Gräberfeld von Castenada sowie den anderen in diese Untersuchung (Northover 2012) einbezogenen Fundorten (Arbedo-Castione TI, Arbedo-Cerinasca TI, Arbedo-Molinazzo TI, Castione-Bergamo) zeigt ein ähnliches Bild. Vereinzelt lassen sich Objekte dieser Probenreihe den Hochdorfer Clustern zuordnen, im überwiegenden Fall ist eine Korrelation allerdings nicht signifikant gegeben. Auch bei diesem Fundspektrum geben die Autoren an, dass die Bronzegefäße viele Reparaturen aufweisen, Recycling gegebene Praxis war, die Nutzungsdauer hoch gewesen ist und nur bei wenigen Gefäßen alle beprobten Teile in dieselbe Materialgruppe fallen. Diese Tatsachen zeigen sich auch beim Vergleich mit dem Hochdorfer Probenmaterial.

Während die definierten Cluster 2, 3, 4, 7, 8 und 9 unverändert bleiben, verändert sich die Zusammensetzung der anderen Cluster (Abb. 12):

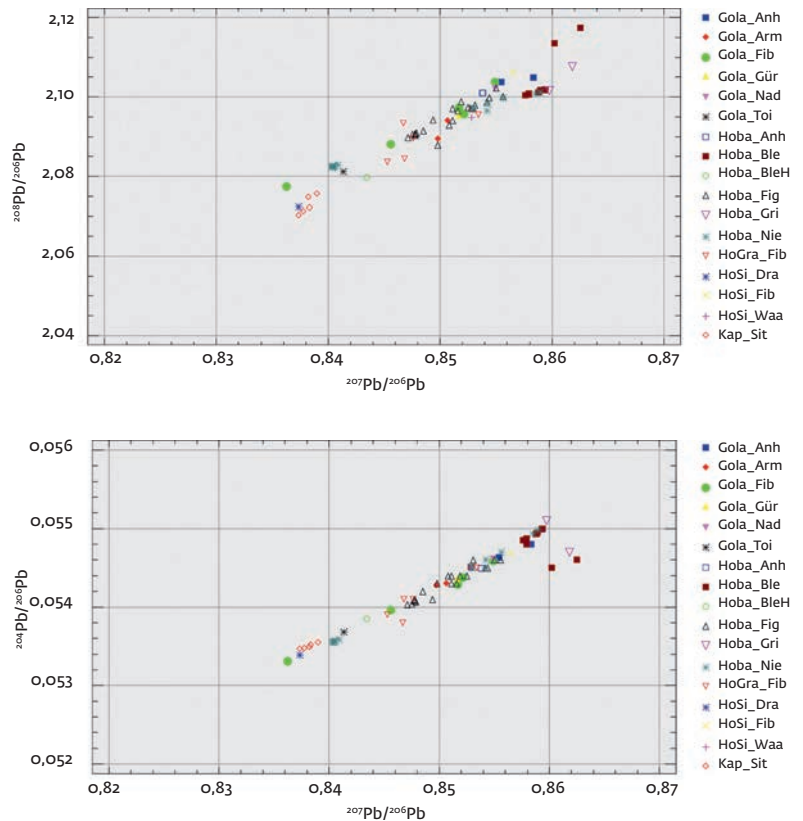
Cluster 1 bleibt grundsätzlich bestehen, allerdings gruppieren der Draht sowie der Ring aus der Hochdorfer Siedlung zusammen mit einigen Proben der Castenada-Serie in einen neuen Cluster.

Cluster 5 bleibt bestehen. Hinzu kommen vier Proben, darunter zwei Objekte aus Arbedo-Cerinasca, ein Objekt aus Arbedo-Molinazzo und ein Objekt aus Castione-Bergamo.

Cluster 6 war bis dato ein Einzelcluster, zu dem nun eine Probe aus Arbedo-Cerinasca hinzukommt. Das interessanteste Ergebnis dieses Vergleichs dürfte sein, dass die Proben der Bleche des Hochdorfer Sitzmöbels kontinuierlich in einen eigenen Cluster gruppieren und keine Korrelation zu anderen Objekten aufweisen, abgesehen von einem der Anhänger des Sitzmöbels und einer Probe der Golasecca-Serie, die ebenfalls in diese Gruppe fallen.

Analyse der Bleiisotopenverhältnisse

Die Daten der Bleiisotopenverhältnisse (Abb. 13–14) zeigen, dass die Proben der Golasecca-Objekte – mit Ausnahme von drei Proben – in das große Analysenfeld der Trägerfiguren (vgl. 3.2.1) gruppieren. Ein Anhänger (Typ „Melagrana“) liegt im Feld der Bleche und Griffe der Hochdorfer Sitzbank, eine Schlangenfibel (Tab. 1, 20483.04) liegt in der Nähe



der Gruppe der Proben aus Kappel und des Drahtes aus der Hochdorfer Siedlung. Der dritte Fund, das Toilettebesteck, gehört zu der Reingruppe der Niete der Hochdorfer Sitzbank.

Die Isotopenverhältnisse der Proben der Situla von Kappel liegen im gleichen Bereich wie die Probe des Drahtes aus der Hochdorfer Siedlung.

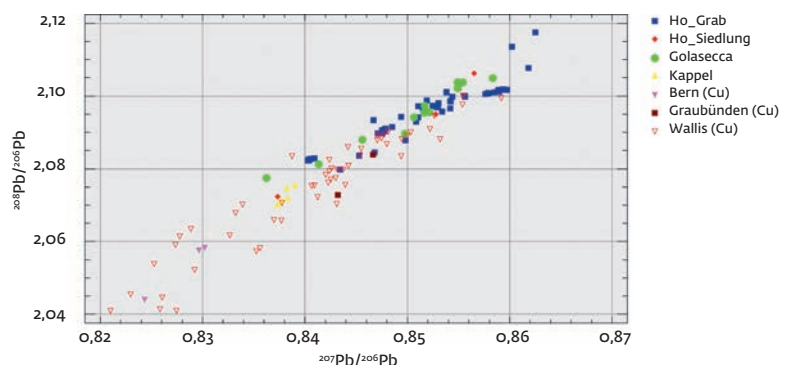
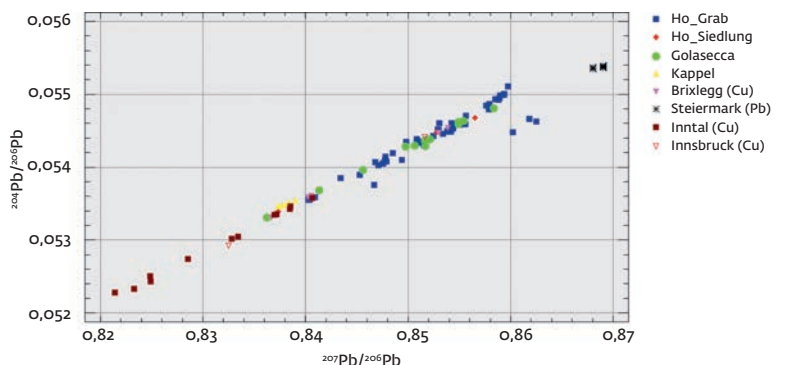
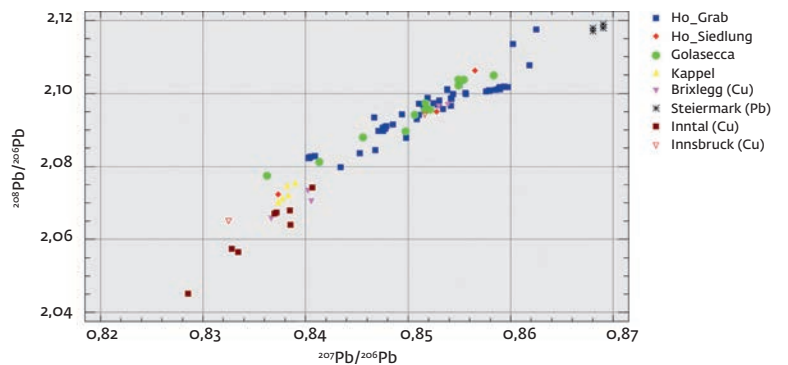
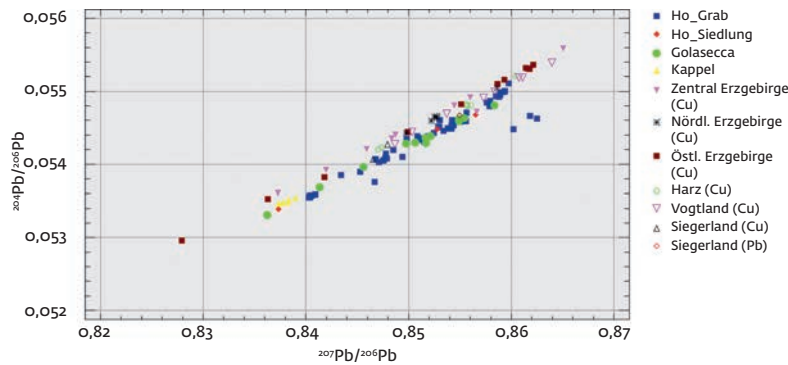
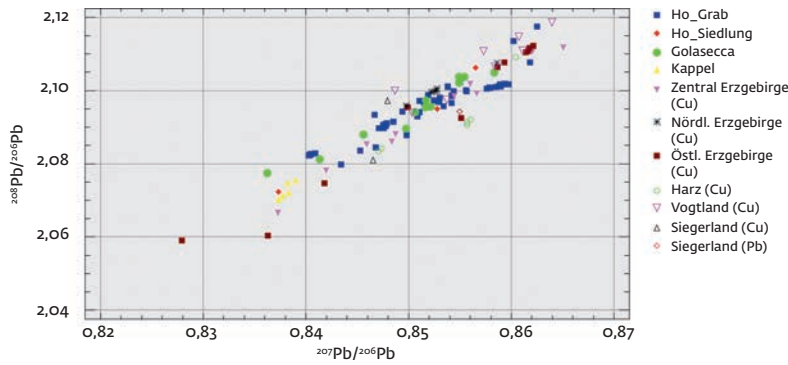
Vergleich der Bleiisotopenverhältnisse mit Rohstoffquellen

Für die Lokalisierung der Rohstoffquelle/n wurden Daten der kulturhistorisch in Frage kommende Länder – Österreich, Schweiz, Frankreich, Deutschland, Italien und Griechenland – zur Auswertung herangezogen (Addis u. a. 2012; Baron u. a. 2006; Bode 2008; Bode u. a. 2009; Boni/Koeppel 1985; Cattin 2008; Charef 1986; Dayton/Dayton 1986; Gale u. a. 1997; Gale 1991; Gottschalk/Baumann 2001; Harmst u. a. 2012; Hassan/Hassan 1981; Kirnbauer u. a. 2012; La Guen u. a. 1991; Lescyuer u. a. 1998; Ludwig u. a. 1989; Nimis u. a. 2012; Orgeval u. a. 2000; Reiter/Weber 2005; Schneider 1998; Stos-Gale/Gale 1986; Stos-Gale u. a. 1995; Stos-Gale u. a. 1997; Valera u. a. 2005; Zwicker u. a. 1991).

Im Wesentlichen wurden zum Vergleich die Daten von Kupfererzen verwendet, allerdings erschien es vor dem Hintergrund oftmals geringer Probenbasen opportun ebenfalls Bleierze in die Diskussion miteinzubeziehen,

13 Bleiisotopen-Verhältnisse aller Proben ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

14 Bleiisotopen-Verhältnisse aller Proben ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).



wenngleich die Signatur der Blei- und Kupfererze nicht übereinstimmen muss, da sich besonders bei Uran-haltigen Kupfererzen mit geringen Blei-Gehalten das Bleiisotopenverhältnis durch den fortschreitenden radioaktiven Zerfall verändert.

Deutschland (Abb. 15–16)

Der Vergleichsdatensatz für Erzlagerstätten aus Deutschland schließt Kupferlagerstätten aus dem Zentralen Erzgebirge (n = 10), dem nördlichen Erzgebirge (n = 6), dem östlichen Erzgebirge (n = 11), dem Harz (n = 6), dem Vogtland (n = 11) und dem Siegerland (n = 2) sowie Bleierze aus dem Siegerland (n = 1) ein.

Die Daten aus dem Erzgebirge weisen Übereinstimmungen mit der Großgruppe der Trägerfiguren auf, gleichfalls fallen auch zwei Proben aus dem Harz und dem Vogtland in diesen Bereich, während sich für die Bleiisotopenverhältnisse aus dem Siegerland keine Übereinstimmung finden lässt.

Österreich (Abb. 17–18)

Als Vergleichsdaten lagen Bleiisotopenverhältnisse von Proben von Kupfererzvorkommen aus Brixlegg (n = 6), Innsbruck (n = 3) und dem Inntal (n = 24) sowie von Bleierzlagerstätten aus der Steiermark (n = 10) vor. Bei einer Vorabklassifizierung der Datensätze zeigte sich bereits, dass die in der Bronzezeit intensiv bewirtschafteten Reviere des Mitterbergs als Rohstoffquellen nicht in Frage kommen.

Positive Korrelationen für einen Teil des analysierten Fundmaterials ergaben sich mit einem Teil der Proben aus Innsbruck und Brixlegg. Dies betrifft ausschließlich die Großgruppe mit den Trägerfiguren, die hier zugehörigen Analysen der Golasecca-Objekte lie-

15 Vergleich der Bleiisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen deutscher Kupfer- und Bleierze ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

16 Vergleich der Bleiisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen deutscher Kupfer- und Bleierze ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

17 Vergleich der Bleiisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen österreichischer Kupfer- und Bleierze ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

18 Vergleich der Bleiisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen österreichischer Kupfer- und Bleierze ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

19 Vergleich der Bleiisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen schweizerischer Kupfererze ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

gen ebenfalls deutlich im Bereich der genannten Erzlagerstätten.

Schweiz (Abb. 19–20)

Vergleichsdaten mit den Kupfervorkommen der Schweiz sind nicht allzu vielfältig. Es konnten Daten aus Bern (n = 3), Graubünden (n = 2) und dem Wallis (n = 73) zur Vergleichszwecken herangezogen werden. Lediglich die Daten aus dem Wallis sowie eine einzige Probe aus Graubünden zeigen Korrelationen zur Großgruppe der Trägerfiguren sowie in einem Fall einer Probe aus dem Wallis zur Gruppe der Bleche.

Frankreich (Abb. 21–22)

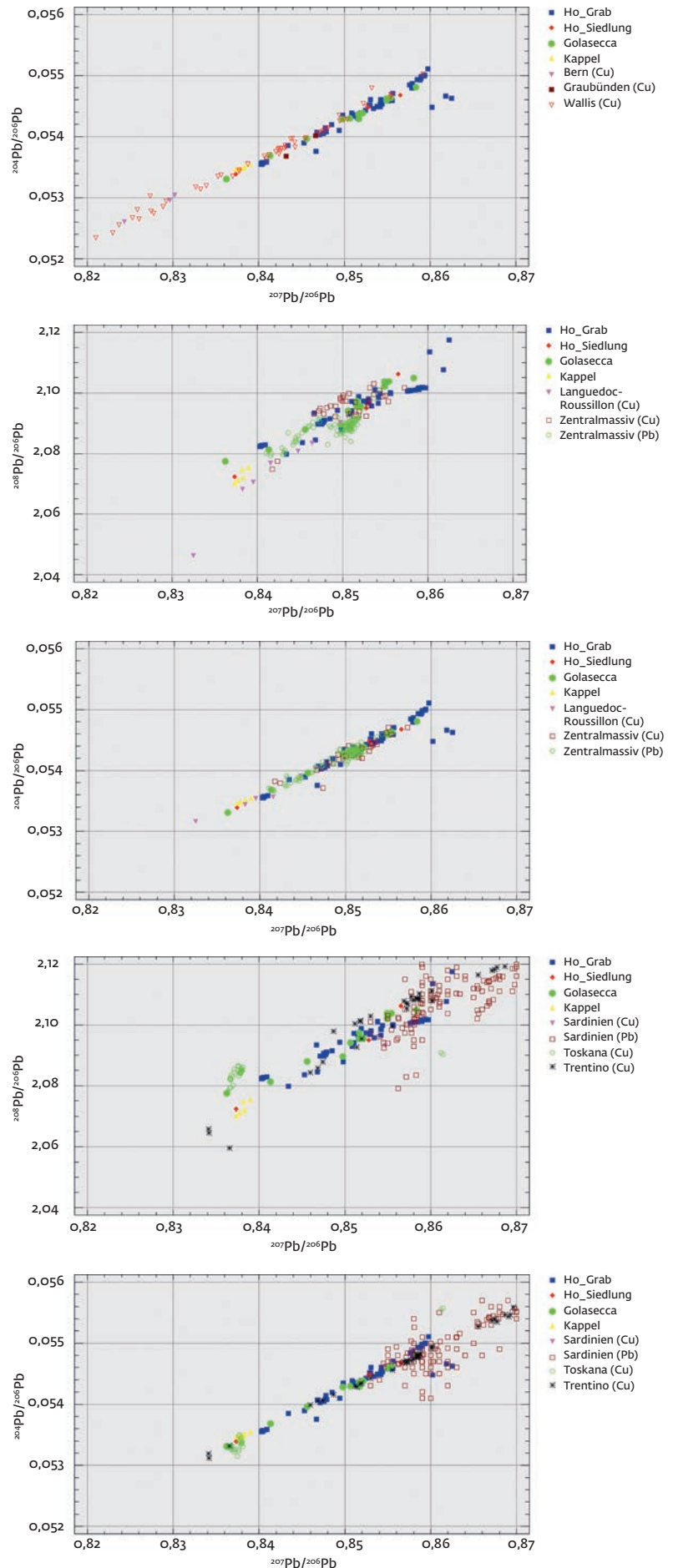
Der Vergleich für den französischen Raum erfolgte über Analysedaten von Kupfererzen aus dem Languedoc-Roussillon (n = 8) und dem Massif Central (n = 48) sowie Bleierzen aus dem Massif Central (n = 98).

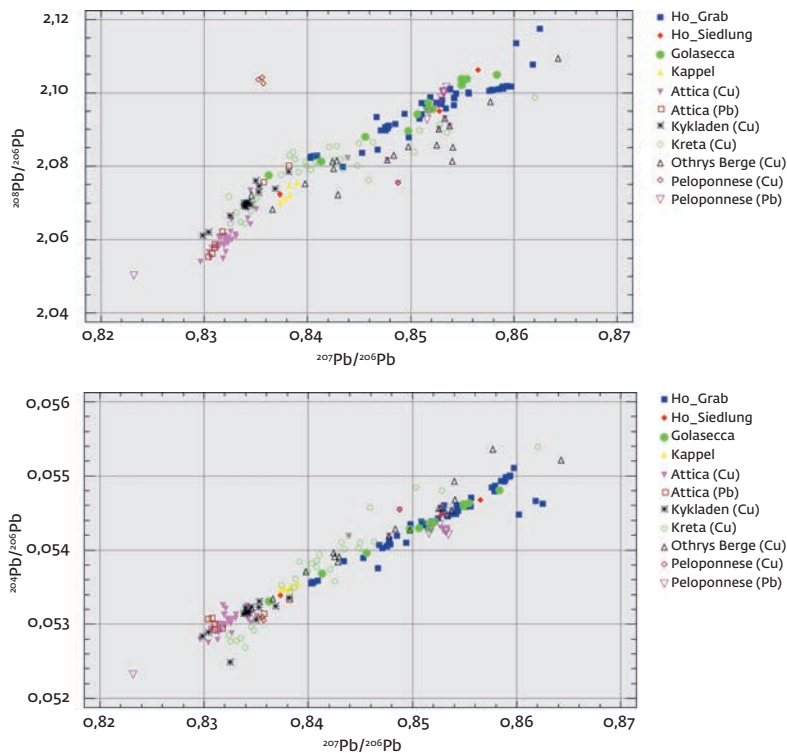
Die Proben aus dem Languedoc-Roussillon kommen als Erzbasis für keinen der analysierten Funde in Frage. Ein Großteil der Bleierze aus dem Massif Central bildet ein Feld unterhalb der vorliegenden Daten aus Hochdorf, Kappel und den Golasecca-Funden, während die Kupfererze größtenteils in ein Feld oberhalb dieser Daten plotten. Dennoch korreliert ein Teil der Erze gut mit der Großgruppe der Trägerfiguren.

Italien (Abb. 23–24)

Für die italienischen Erzlagerstätten können Daten von folgenden Vorkommen zu Vergleichszwecken herangezogen werden. Hierzu gehören die Kupfererzlagerstätten von Sardinien (n = 1), der Toskana (n = 30), dem Trentino (n = 52) und die Bleierzlagerstätten auf Sardinien (n = 402).

- 20 Vergleich der Bleisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen schweizerischer Kupfererze ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).
- 21 Vergleich der Bleisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen französischer Kupfer- und Bleierze ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).
- 22 Vergleich der Bleisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen französischer Kupfer- und Bleierze ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).
- 23 Vergleich der Bleisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen italienischer Kupfer- und Bleierze ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).
- 24 Vergleich der Bleisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen italienischer Kupfer- und Bleierze ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).





- 25 Vergleich der Bleiisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen griechischer Kupfer- und Bleierze ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).
- 26 Vergleich der Bleiisotopen-Verhältnisse aller untersuchten Proben mit ausgewählten Datensätzen griechischer Kupfer- und Bleierze ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ gegen $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

Interessanterweise korreliert ein einziges Objekt, nämlich eine Schlangenfibel Tab. 1, (20483.04) aus dem Fundbestand der Golasecca-Kultur mit Daten aus der Toskana, während die Daten aus dem Trentino grundsätzlich mit der Großgruppe der Trägerfiguren, aber nicht mit der Reingruppe der Niete und auch nicht mit der Blechgruppe korrelieren. Die sardischen Bleierze weisen Übereinstimmungen mit der Blechgruppe sowie mit dem oberen Bereich der Großgruppe der Trägerfiguren auf. In letzterem befinden sich ebenfalls die Proben dreier Golasecca-Objekte.

Griechenland (Abb. 25–26)

Der Vergleichsdatensatz griechischer Lagerstätten bestand aus Kupfererzen aus Attika ($n = 56$), Kreta ($n = 34$), von den Kykladen ($n = 16$), aus den Lagerstätten im Othrys Gebirge ($n = 18$) und vom Peloponnes ($n = 4$) sowie Bleierzen aus Attika ($n = 13$) und vom Peloponnes ($n = 10$).

Eine Korrelation mit dem vorgelegten Fundbestand ergibt sich lediglich bei einigen wenigen Proben von Bleierzen aus dem Peloponnes, die wiederum in die Großgruppe der Trägerfiguren plotten. Alle anderen Datensätze liegen außerhalb der relevanten Felder.

Weitere Lagerstätten

Bei der Vorabklassifizierung der Datensätze zeigte sich, dass insbesondere im Bereich der Großgruppe der Trägerfiguren ebenfalls eine Korrelation zu serbischen Erzen besteht. Aufgrund der archäologisch-kulturhistorischen

Rahmendaten, ist zunächst nicht davon auszugehen, dass in der frühen Eisenzeit Mitteleuropas ein Ausgriff auf diese Lagerstätten erfolgte. Nichts destotrotz sei diese Korrelation im Rahmen einer vollständigen Ansprache des Materials hier erwähnt.

DISKUSSION DER ANALYSE-ERGEBNISSE

Die Sitzbank

Die Proben der verschiedenen Konstruktionsteile der Hochdorfer Sitzbank bestehen sämtlich aus einer Kupfer-Zinn-Legierung, die meistens eine idealtypische Zusammensetzung aufweist (\bar{x} Cu/Sn, Bleche = 87,07/11,62 %, Figuren, Griffe, Anhänger = 88,3/10,03 %). Die Spurenelementgehalte zeigen, dass es sich bei der Erzbasis um sulfidische Kupfererze handelt, die allgemein eher geringen Anteile an Silber (\bar{x} 0,09 %), Antimon (\bar{x} 0,14 %) und Arsen (\bar{x} 0,14 %) bedingen, dass eine Verwendung von Fahrzen als Rohmaterial nicht nachgewiesen werden kann.

Interessanterweise konnte auch für die gegossenen Konstruktionselemente kein Zulegieren von Blei nachgewiesen werden. Die Blei-Gehalte liegen sehr deutlich unterhalb der Grenze von 4–6 %, ab der in Fachkreisen im Allgemeinen von einer intentionellen Zulegierung von Blei ausgegangen wird (Stos-Gale/Gale 1986; Pernicka 1990). Gleichzeitig ist jedoch auch ein deutlicher Unterschied in der Zusammensetzung der mit unterschiedlichen Techniken produzierten Konstruktionselemente zu erkennen. So enthalten die von den Blechen gewonnenen Proben 0,04–0,09 % Blei (\bar{x} 0,06 %), während die Gehalte der Figuren, Niete und Anhänger zwischen 0,04 % und 1,47 % (\bar{x} 0,7 %) schwanken. Es erscheint also legitim, hierbei von einer gezielten Auswahl unterschiedlicher Ausgangsmaterialien auszugehen, wiewohl Schwankungen im Spurenelementbestand sicher auch auf die heterogenen Prozesssteuerungen zurückgeführt werden könnten. Insbesondere aber die Unterschiede im Bleigehalt, Zusätze von Blei sind zu jener Zeit lange bekannt, deuten aber eher auf eine selektive Rohmaterialauswahl.

Ein Punkt der zu diskutieren bleibt, ist die Verwendung von Altmetall als Rohmaterial. Geht man davon aus, dass die Sitzbank nicht aus frisch legiertem Metall gefertigt wurde, könnten die Unterschiede in den Spurenelementen leicht mit den unterschiedlich verwendeten Altmetallen erklärt werden. Die Tatsache, dass sich Bleche und gegossene Elemente der Sitzbank unterscheiden, ist kein Argument gegen die Verwendung von Altmetall, da basierend auf zahlreichen materialtechnischen

Untersuchungen zur Metallverarbeitung in der Prähistorie davon ausgegangen werden kann, dass eine entsprechende Materialkenntnis vorlag, so dass eine Auftrennung des Altmaterials streng nach Herkunft und Verwendung (Guss vs. Schmiedearbeiten) problemlos möglich, vermutlich gar alltäglich war und somit trotz Recycling die Materialcharakteristika erhalten blieben. Natürlich ist auch eine Verwendung von frischem Rohmaterial denkbar oder eine opportunistische Mischstrategie, jedoch anhand der vorliegenden Analytik nicht zu postulieren. Grundsätzlich ist hier eine soziokulturelle Frage zu stellen. Ist damit zu rechnen, dass frischem sowie Altmetall unterschiedliche Bedeutungen beigemessen werden? Beispielsweise könnten Objekten, die für den Grabgebrauch gefertigt werden eine solche Materialbeschränkung (z. B. ausschließlich aus frischem Metall) inne liegen. Bei Material das aus dem Gebrauch in den Grabkontext gelangt, spielen womöglich andere Aspekte in den Vordergrund (z. B. Bedeutung des Objektes, Symbolkraft etc.), die die Materialanforderung überlagern. Vor diesem Gedankenspiel wäre es wohl möglich, dass zur Herstellung der Sitzbank Altmetall gedient hat.

Auffallend ist der Umstand, dass die Proben der Trägerfiguren der Sitzbank insgesamt in drei verschiedene Cluster gruppieren (Abb. 9). Aufgrund der Tatsache, dass basierend auf den Spurenelementgehalten signifikante Unterschiede der Cluster festgestellt werden können, ergibt sich vor dem Hintergrund der heterogenen Aufteilung der Proben der Figuren auf drei Cluster eine interessante Diskussion. Da regelhaft Proben derselben Trägerfigur in unterschiedliche Cluster gruppieren (Proben der Figur 177 fallen in alle drei Cluster), war sowohl die Clusterung zu falsifizieren, als auch ein produktionsbedingter Effekt zu diskutieren. Bezüglich der Clusterung ist festzustellen, dass sich die Cluster, die die Trägerfiguren enthalten, bereits in einem dritten Schritt (also bei der Abgrenzung von vier Clustern) aufspalten. Bei der Definition von lediglich drei Clustern liegen die Trägerfiguren in der Hauptgruppe, von der sich die Cluster 6 und 7 abspalten lassen. Die Aufteilung auf lediglich drei Cluster widerspricht jedoch signifikant den Sprüngen in der Heterogenitätsentwicklung der Analyse. Blickt man aber auf die Konstruktionselemente der Trägerfiguren: 1) Figur selbst 2) „Gefäße“ im Kopfbereich 3) Radkranz, so ist hier eine gewisse Aufspaltung zu erkennen. Während die Cluster 1 und 2 recht heterogen zusammengesetzt sind, befinden sich in Cluster 3 ausschließlich Proben, die aus den Radkränzen der verschiedenen Figuren stammen. Gleichfalls ist festzustellen, dass die vier Proben der „Gefäße“ alle in den Cluster 1 gruppieren. Auf-

grund der Tatsache, dass die unterschiedlichen Teile der Trägerfiguren sich in ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheiden und daher in unterschiedliche Cluster gruppieren, lässt sich vermuten, dass in den unterschiedlichen Produktionsschritten nicht das gleiche Rohmaterial verarbeitet wurde, da sich das verwendete Material zwar in seinen Legierungsbestandteilen gleicht, sich jedoch anhand seiner Spurenelemente differenzieren lässt. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, dass sich für die Proben der Bleche keine entsprechende Aufspaltung feststellen lässt. Vorausgesetzt, die Bleche entstammen einer Produktion, ggf. sogar einem Produktionsschritt, erscheint dies nicht weiter verwunderlich. Die Frage, ob die Bleche erst geformt und dann geteilt wurden, oder ob aus demselben Guss sechs unterschiedliche Blechrohlinge gegossen wurden, kann zum derzeitigen Zeitpunkt jedoch nicht beantwortet werden. Bereits anhand der pauschalchemischen Analyse lässt sich also ein Teil der Fertigungsgeschichte des Objekts erklären. Des Weiteren ist offensichtlich nicht davon auszugehen, dass die Figuren in einer strengen Reihenproduktion gefertigt wurden, vielmehr handelt es sich offenbar um sukzessive Prozessschritte mit unterschiedlichen Schmelzen der gleichen Legierung. Im Gegensatz dazu bietet die Einheitlichkeit der beprobten „Gefäße“ eine interessante Diskussionsgrundlage zur Herstellungsgeschichte. Hier ist ggf. von einer einzelnen Gussform auszugehen, in der mehrere „Gefäße“ zusammen gegossen werden konnten. Eine Falsifizierung dieser Annahme kann u. U. über eine genaue Untersuchung der „Gefäße“ auf etwaige Gussansatzstellen vorgenommen werden.

Die Bismut-Gehalte, auf die bereits Hartmann ein Augenmerk hatte, sind sehr heterogen. Insgesamt lassen sich Gehalte von 0,001–0,427 % feststellen, von den 81 Proben liegen 15 oberhalb des als signifikant betrachteten Schwellenwerts von 0,2 %. Grundsätzlich lässt sich jedoch feststellen, dass auch bei Durchsicht der von Junghans, Sangmeister und Schröder (1960; 1968; 1974) sowie Krause (2003) definierten Kupfer-Gruppen und den ihnen zugeordneten Objekten, die Bismut-Gehalte recht heterogen verteilt sind. Hieraus eine Zuordnung ableiten zu wollen, erscheint in Anbetracht der Datengrundlage zu hoch gegriffen. Dieser Eindruck wird bestätigt, wenn man sich die Daten der Proben der Trägerfiguren ansieht, die sowohl Minimal- als auch Maximalbismutkonzentrationen auf sich vereinen. Bismut ist zudem ein relativ volatiles Element, so dass sich je nach Prozessführung unterschiedliche Gehalte ergeben können, selbst wenn dasselbe Ausgangsmaterial verwendet wurde.

Bei der Analyse der insgesamt 18 Nieten fällt ein Exemplar analytisch signifikant aus dem Rahmen. Interessanterweise handelt es sich bei diesem Exemplar um die an den im Archivbestand des Landesmuseum Württemberg verwahrten Restaurierungsresten gewonnene Probe. In diesen, während des Restaurierungsprozesses der Sitzbank entstandenen Materialresten, waren einige Nieten vorhanden, von denen eine beprobt wurde. Der signifikante Unterschied zu den anderen Nieten besteht in dem wesentlich geringeren Spurenelementgehalt des Materials (er liegt ähnlich niedrig wie jener der Kupferfibel) und den sehr geringen Bismutkonzentrationen. Natürlich kann es sich hierbei entweder um einen Ausreißer handeln, oder um einen Vertreter einer weiteren Materialgruppe innerhalb der Nieten, die mit den genommenen Proben nur in diesem einen Stück erfasst wurde. Bleiisotopisch setzt sich die Probe nicht so deutlich ab, sie liegt in unmittelbarer Nähe zu einem weiteren Niet, wengleich der Wert am äußeren Rand liegt.

Eine weitere Besonderheit findet sich in den Proben der Kettenanhänger von der Lehne der Sitzbank, deren Nickelwerte von 2 % gegenüber sowohl der sonstigen Schwankungsbreite von 0,002 %–0,261 %, als auch im Vergleich mit den mittleren Gehalten von 0,15 % auffällig sind. Materialtechnisch stehen sie damit der bronzenen Feinwaage aus der Siedlung Hochdorf „Reps“ am nächsten.

Das Hochdorfer Vergleichsmaterial

Die Fibeln aus dem Hochdorfer Grab sind vergleichsweise homogen zusammengesetzt, wengleich auch hier ein Exemplar (Hansen 2010, Kat.-Nr. 321) einen Bismut-Gehalt von 0,2 % aufweist. Lediglich eine der Fibeln (Hansen 2010, Kat.-Nr. 315) lässt sich analytisch von den anderen abgrenzen, da es sich nicht um eine Bronze-, sondern um eine Kupferfibel handelt. Aufgrund der kleinen Datenbasis ist derzeit nicht zu entscheiden, ob es sich um ein Zufallsprodukt oder ggf. um eine farborientierte Auswahl der Legierung handelt. Grundsätzlich wäre denkbar, dass die goldenen Bronzefibeln alternierend mit rötlichen Kupferfibeln im Grab angebracht wurden, um einen entsprechenden Farbeffekt zu erzielen. Definitiv zeigt das Vorhandensein einer Kupferfibel hingegen, dass anscheinend ein Zugriff auf Rohstoffquellen bestanden hat, insofern ist dies ein Hinweis für die Frage nach der Verwendung von Altmetall und/oder frisch hergestellter Legierung. Die Verwendung von Altmetall lässt sich aufgrund des Mangels an direkten Belegen nicht postulieren, allerdings muss natürlich damit gerechnet werden, dass beide Strategien verfolgt wurden.

Die beprobten Funde der Siedlung passen gut in das grundlegende Legierungsspektrum

des analysierten Fundmaterials, es handelt sich sämtlich um Kupfer-Zinn-Legierungen. Der beprobte Ring sowie insbesondere die Feinwaage enthalten allerdings signifikant mehr Blei als das übrige Fundmaterial. Gleichwohl kann in keinem Fall eine Zulegierung von Blei bestätigt werden. Selbst die Feinwaage, die sich deutlich abhebt, enthält lediglich 3,4 % Blei, zu wenig um im Allgemeinen von einem Blei-Zusatz zu sprechen. Dies ist insofern bemerkenswert, als die Waage, aber auch die Trägerfiguren als gegossene Objekte prinzipiell von einem Bleizusatz profitiert hätten. Es bleibt also zu vermuten, dass die Verarbeitungstechnik den Bleizusatz obsolet machte, oder aber dass der Zugriff auf Blei womöglich beschränkt gewesen sein könnte.

Bezüglich einer Materialbezugs Konstanz lässt sich allenfalls feststellen, dass das Material insgesamt eine hohe Heterogenität in seiner Provenienz zu besitzen scheint. Die Frage nach einer Werkstoffkonstanz müsste daher separat bearbeitet werden. Hierzu müsste eine belastbare Anzahl an Proben von sicher lokal produzierten Objekten gegen eine ebenfalls ausreichende Zahl von Proben kontemporärer Objekte anderer Herkunft geplottet werden. Grundsätzlich besteht auf Basis des vorliegenden Materials jedoch der Verdacht, dass insgesamt mit einer hohen Varianz der Bezugsquellen gerechnet werden muss.

Golasecca

Ebenso wie das restliche beprobte Fundmaterial bestehen die zwölf untersuchten Objekte der Golasecca-Kultur aus einer idealtypisch zusammengesetzten Kupfer-Zinn-Legierung. Insgesamt ist die Verteilung der Spurenelemente gegenüber den anderen Proben unauffällig, die Daten ließen sich den Hochdorfer Clustern zuordnen. Ähnlich wie im restlichen Probenbestand lassen sich auch in den Proben der Golasecca-Objekte vereinzelt erhöhte Bismut-Gehalte feststellen. Oberhalb von 0,2 % liegen diese allerdings in keinem Fall.

Kappel

Das Material der Situla von Kappel erweist sich erwartungsgemäß sowohl in den Gehalten der Spurenelemente, als auch in den Ergebnissen der Bleiisotopie als sehr einheitlich. Interessant ist auch hier ein produktionsbedingter, materialtechnischer Unterschied. So weisen die Proben der Bleche ca. 9 % Zinn als Legierungsbestandteil auf, während die Zinngehalte der Nieten zwischen 5 % und 6 % schwanken. Dieser Unterschied ist insofern bemerkenswert, als man problemlos postulieren kann, dass die Anforderungen an das Material der Nieten, grundlegend andere waren, als an jenes der Bleche. Das weichere Material der Nie-

ten konnte besser verformt werden. Allerdings ist dann die Frage zu stellen, wozu den Nietten dennoch Zinn zugesetzt wurde. Denn verarbeitungstechnisch hat der Zusatz von 5–6% Zinn keine Auswirkungen. Anders sieht es hingegen bei der Farbe des Metalls aus. Während die Bleche über ihren höheren Zinngehalt eine goldene Färbung hatten, sind die Nietten noch deutlich kupfer(braun)rot. Vor dem Hintergrund der bereits diskutierten Unterschiede zwischen den Fibeln der Hochdorfer Grabausstattung ist dies eine interessante Feststellung.

Da die Bleiisotopenverhältnisse der Situla sich deutlich von jenen der Sitzbank unterscheiden, wurde sicher kein Rohmaterial dieser Situla zum Bau der Sitzbank verwendet. Die Beprobung einer einzelnen Situla kann natürlich nicht als Beleg dafür gelten, dass diese Hypothese falsch ist. Allerdings ist vor dem Hintergrund der hohen materiellen Gleichheit der Bleche zu fragen, ob diese sich unter Verwendung von „Situlenrohmaterial“ ebenfalls darstellen würde. Bevor jedoch nicht eine weitergehende Beprobung von entsprechenden Blechen erfolgt ist muss der Beleg geschuldet bleiben.

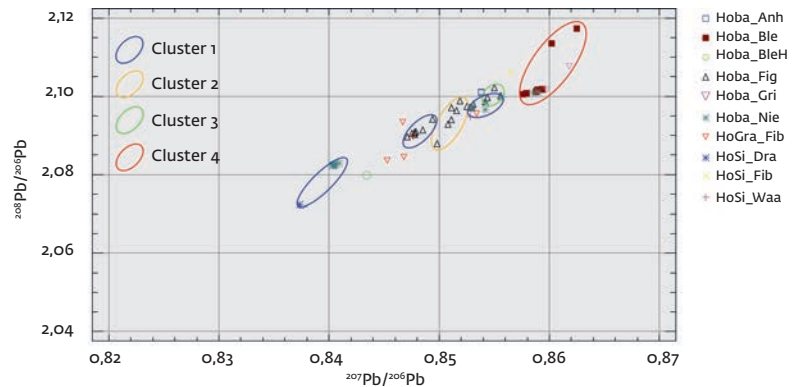
Weiteres Vergleichsmaterial

Der Einbezug weiterer Proben konnte keine klare Korrelation zwischen den Analysedaten des Hochdorfer Materials und jenem der unterschiedlichen Fundorte zeigen. Zum Teil ist dies systematischen Unterschieden in der zur Anwendung gebrachten Analysemethodik geschuldet, zum Teil liegt dies auch an der sehr unterschiedlichen Materialbasis. Grundsätzlich steht also die Theorie der sekundären Verwendung von Situlenblechen bzw. das Gewinnen von Material aus vorhandenen Blechgefäßen weiter im Raum, wenngleich vor dem derzeitigen Analysenbestand zu sagen ist, dass dies als eher unwahrscheinlich anzusehen ist.

Die Materialprovenienz der untersuchten Objekte

Die Resultate aus der pauschalchemischen Analyse verweisen deutlich darauf, dass das für den Bau der Sitzbank verwendete Rohmaterial aus verschiedenen Quellen stammen könnte. Die aus der Untersuchung der Bleiisotopenverhältnisse gewonnenen Daten unterstützen diese Annahme.

Zur Klärung der Frage nach der gegebenenfalls unterschiedlichen Provenienz der Materialgruppen, wurden die Daten zusammen mit Bleiisotopen-Verhältnissen verschiedener Erzlagerstätten geplottet. Wenngleich sich die hohe Diversität des Materials, wie es in den Clustern zu fassen ist, in der Bleiisotopie nicht direkt widerspiegelt, zeigt sich, dass die Cluster auch in den Gruppen der Bleiisotopenverhält-



nisse eine grundsätzliche Entsprechung finden (Abb. 27). Dies belegt, dass die unterschiedliche Erzbasis sich auch deutlich in der pauschalchemischen Analyse widerspiegelt.

Während die Situla von Kappel materialtechnisch – sowohl pauschalchemisch als auch bleiisotopisch – sehr deutlich von den Proben aus Hochdorf sowie vom restlichen Referenzmaterial abzusetzen ist, sind insbesondere die Analysen der Objekte aus dem Golasacca-Bereich jenen der Gesamtheit der Proben von den Hochdorfer Trägerfiguren sehr nahe.

Als Ursprung für das Material dieser Objekte kommen nach derzeitigem Stand unterschiedliche Lagerstätten in Frage, gleichfalls muss – ausgegangen von einer Verwendung von Altmetall aus verschiedenen Quellen – mit Mischsignaturen gerechnet werden, die in dem recht eng belegten Datenraum nicht leicht zuzuordnen sind. Unter den in Frage kommenden Erzproben diverser Lagerstätten befinden sich auch Datensätze, die ins Trentino weisen. Dies erscheint vor allem auch vor dem Hintergrund der archäologisch-ikonographischen Betrachtung der Sitzbank und den Überlegungen in Richtung einer norditalienischen Verknüpfung oder gar Herkunft des Werkstücks als wahrscheinlich. Dieser vielversprechende Ansatz sollte weiterverfolgt und mit weiterführenden Untersuchungen von Erzbasis und Objekten, idealerweise auch Werkstattresten, ergänzt werden.

DESIDERATE

Die ersten Analysen der Sitzbank von Hochdorf haben interessante Hinweise auf die Produktionsgeschichte dieses singulären Werkstücks gegeben, indem sie plausibel machen, dass die unterschiedlichen Produktionsteile der Sitzbank aus Metall unterschiedlicher Provenienz bestehen. Das daraufhin durchgeführte, erweiterte Analysenprogramm konnte zeigen, dass archäometrische Untersuchungen sowohl zur regionalen als auch überregionalen Fragestellung im Zusammenhang mit diesem Fund einen signifikanten Beitrag leisten können.

27 Vergleich der in der Clusteranalyse definierten Gruppen mit den Bleiisotopenanteilen.

Dennoch bleiben einige Fragen, insbesondere jene nach der genauen Lokalisation der Erzbasis/Rohstoffquelle, zum derzeitigen Zeitpunkt bestehen, da sie nur näherungsweise beantwortet werden konnten.

An Desideraten ist daher zu formulieren, dass die Untersuchung der Erzbasen bzw. die mögliche Korrelation von Kupfererzeugnissen und Analysen von Bleierzen weiter vorangetrieben werden müssen. Ein verbreiteter Zugriff auf in Frage kommende Erzlagerstätten wäre eine grundlegende Voraussetzung, um die Analyseergebnisse weiter zu verschärfen. Natürlich würden hierzu auch der – zugegebenermaßen nicht ganz einfache – Nachweis eisenzeitlicher Abbaustellen sowie eine detailreichere Diskussion der Recyclinggeschichte von Kupferlegierungen gehören.

Ein weiterer wichtiger und gewinnbringender Schritt wäre eine Methodenentwicklung zur Korrelation von Bleierzen aus polymetalischen Lagerstätten und Kupfererzeugnissen. Der Erkenntnisgewinn liegt hier in der Ansprache auch bereits abgebauter Kupfererzkörper mittels benachbarter Bleierze, deren analytische Charakterisierung im Großraum Europa wesentlich weiter fortgeschritten ist, als jene der Kupfererze.

Darüber hinaus und speziell im Hinblick auf das Hochdorfer Ensemble wäre es wünschenswert, das Analyseprogramm auf die gefundenen Werkstattreste aus dem Hügel, entsprechende Stücke aus der Siedlung sowie weiteres Material aus dem direkten Umfeld von Hochdorf auszudehnen. Im Hinblick auf

die wissenschaftliche Belastbarkeit der Vergleiche der unterschiedlichen, durchgeführten Analysen wäre auch eine korrelative Analyse der bereits durch Hartmann beprobten Objekte der Grabbeigaben sinn- und wertvoll. Die Diskussion unter Einbindung dieser Proben würde damit an Schärfe gewinnen. Insbesondere wäre dann auch eine Ergänzung der spektralanalytischen Arbeiten aus den 1980er Jahren durch bleiisotopische Untersuchungen der Bleche des Hochdorfer Kessels möglich, um eine Vergleichsbasis der Rohmaterialien zu ermöglichen.

Ein weiterer interessanter Aspekt zur Grabausstattung und der Gestaltung der Grabkammer ergaben sich aus dem Vorhandensein einer Kupferfibel, die in den Grabkontext gehört. Anhand dieses Werkstücks wurde diskutiert, ob die Verwendung von Kupfer- und Bronze fibeln farbindiziert war oder nicht. Um hier weiterführende Hinweise zu erhalten, müssten weitere Fibeln aus dem Grab beprobt werden.

Auch die letztlich nur schlaglichtartig angegangene Frage nach der Verwendung von Situlenblechen als Rohmaterial zur Herstellung der Sitzbank könnte nur durch einen größeren Analysenbestand weiterverfolgt werden. Hier wäre unbedingt anzuraten weitere Objekte aus dem italischen Bereich zu beproben, da die vorgenommenen Analysen die Annahme einer auch materialtechnischen Verbindung des Hochdorfer Fundguts in diese Richtung untermauern. Ideal wäre ein Vorgehen basierend auf archäologisch-typologisch in Frage kommenden Referenzmaterials.

LITERATUR

ADDIS U. A. 2012

A. Addis/I. Angelini/G. Artioli, Final Bronze Age Copper Slags from Luserna (Trentino, Italy). In: G. Vezzalini/P. Zannini (Ed.), *Atti del congresso A. I. Ar. 2012 Modena – VII Congresso Nazionale di Archeometria* (Modena 2012).

BARON U. A. 2006

S. Baron/J. Carignan/S. Laurent/A. Ploquin, Medieval lead making on Mont-Lozere Massif (Cevennes-France): Tracing ore sources using lead isotopes. *Applied Geochemistry* 21, 2006, 241–252.

BIEL 1985

J. Biel, *Der Keltenfürst von Hochdorf* (Stuttgart 1985).

BODE 2008

M. Bode, Archäometallurgische Untersuchung zur Blei-/Silbergewinnung im Germanien der frühen Römischen Kaiserzeit. Unpubl. Diss. (Münster 2008).

BODE U. A. 2009

M. Bode/A. Hauptmann/K. Mezger, Tracing Roman lead sources using lead isotope analyses in conjunction with archaeological and epigraphic evidence – a case study from Augustan/Tiberian Germania. *Arch. and Anthr. Science* 1, 2009, 177–194. <https://doi.org/10.1007/s12520-009-0017-0> (31.12.2018).

BONI/KOEPPEL 1985

M. Boni/V. Koepfel, Ore-lead pattern from the Iglesias-Sulcis area (SW Sardinia) and the problem of remobilization of metals. *Mineralium Deposita* 20, 1985, 185–193.

CATTIN 2008

F. Cattin, Modalités d'approvisionnement et modalités de consommation du cuivre dans les Alpes au 3^e millénaire avant notre ère: apport des analyses métalliques et la connaissance des peuplements du Néolithique final, du Campaniforme et du Bronze ancien. Unpubl. Diss. (Genève 2008).

CHAREF 1986

A. Charef, La nature et le rôle des phases associées à la minéralisation Pb-Zn dans les formations carbonatées et leurs conséquences métallogéniques. Etude des inclusions fluides et des isotopes (H, C, O, S, Pb) des gisements des Malines (France), Fedjel-Adoum et Jbel-Hallouf-Sidi Bou Aouane (Tunisie). Unpubl. Diss. (Nancy 1986).

DAYTON/DAYTON 1986

B. R. Dayton/A. Dayton, Uses and limitations of lead isotopes in archaeology. In: J. S. Olin/M. J. Blackmann (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium* (Washington D. C. 1986) 13–41.

DEHN U. A. 2005

R. Dehn/M. Egg/R. Lehnert, Das hallstattzeitliche Fürstengrab im Hügel 3 von Kappel am Rhein in Baden (Mainz 2005).

FREY 1989

O. H. Frey, Zur Kline von Hochdorf. In: R. C. De Marinis (Bearb.), *Gli Etruschi a nord del Po. Atti del Convegno Mantova, 4–5 ottobre 1986* (Mantova 1989) 129–145.

GALE U. A. 1997

N. H. Gale/Z. A. Stos-Gale/G. Maliotis/N. Annetts, Lead Isotope Data from the Iso-trace Laboratory, Oxford: *Archaeometry*

Data Base 4. Ores from Cyprus. *Archaeometry* 39, 1997, 237–246.

GALE 1991

Z. Gale (Hrsg.), Otto-Adelheid-Pfennige. *Commentationes de Nummis Saeculorum IX-XI. The Royal Swedish Academy of Letters. History and Antiquities* (Stockholm 1991) 59–146.

GOTTSCHALK/BAUMANN 2001

R. Gottschalk/A. Baumann, Material provenance of late-Roman lead coffins in the Rhineland, Germany. *European Journal Mineralogy* 13, 2001, 197–205.

HANSEL 2010

L. Hansen, Hochdorf VIII. Die Goldfunde und Trachtbeigaben des späthallstattzeitlichen Fürstengrabes von Eberdingen-Hochdorf (Kr. Ludwigsburg). *Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg* 118 (Stuttgart 2010).

HARMST U. A. 2012

U. Harmst/H. Heckmann/S. Weyer/H. Mali, Galenit-Mineralchemie und Blei-Isotopenchemie der postvarischen Gangvererzungen des Niederbergischen Landes, Deutschland. *Zeitschr. dt. Ges. Geowiss.* 163/1, 2012, 69–182.

HARTMANN 1985

A. Hartmann, Die Bronze- und Goldfunde aus dem Fürstengrab von Hochdorf. In: Biel 1985, 130–135.

HASSAN/HASSAN 1981

A. A. Hassan/F. A. Hassan, Source of Galena in predynastic Egypt at Nagada. *Archaeometry* 23/1, 1981, 77–93

HÖPPNER U. A. 2005

B. Höppner/M. Bartelheim/M. Huijsmans/R. Krauss/K.-P. Martinek/E. Pernicka/R. Schwab, Prehistoric copper production in the Inn Valley (Austria), and the earliest copper in central Europe. *Archaeometry* 47/2, 2005, 293–360.

JUNGHANS U. A. 1960

S. Junghans/E. Sangmeister/M. Schröder, Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa. Studien zu den Anfängen der Metallurgie I (Berlin 1960).

JUNGHANS U. A. 1968

S. Junghans/E. Sangmeister/M. Schröder, Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 2.1–2.3 (Berlin 1968).

JUNGHANS U. A. 1974

S. Junghans/E. Sangmeister/M. Schröder, Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 2.4 (Berlin 1974).

JURGEIT 1990

F. Jurgeit, Fragmente eines etruskischen Rundthrons im Badischen Landesmuseum. *Mitt. DAI Rom* 97, 1990, 1–37.

KIRNBAUER U. A. 2012

T. Kirnbauer/T. Wagner/H. Taubald/M. Bode, Post-Variscan hydrothermal vein mineralization, Taunus, Rhenish Massif (Germany): Constraints from stable and radiogenic isotope data. *Ore Geol. Reviews* 48, 2012, 239–257.

KRAUSE 2003

R. Krause, Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Kar-

patenbecken und Ostsee. *Vorgesch. Forsch.* 24 (Rahden/Westf. 2003).

KRAUSSE 1996

D. Krause, Hochdorf III. Das Trink- und Speiseservice aus dem späthallstattzeitlichen Fürstengrab von Eberdingen-Hochdorf (Kr. Ludwigsburg). *Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg* 64 (Stuttgart 1996).

LA GUEN U. A. 1991

M. Le Guen/J.-J. Orgeval/J. Lancelot, Lead isotope behavior in a polyphased Pb-Zn ore deposit: Les Malines (Cevennes, France). *Mineralium Deposita* 26, 1991, 180–188.

LESCYUER U. A. 1998

J. L. Lescyuer/J. M. Leistel/E. Marcoux/J. P. Milesi/D. Thieblemont, Late Devonian-Early carboniferous peak sulphide mineralization in the Western Hercinides. *Mineralium Deposita* 33, 1998, 208–220.

LUDWIG U. A. 1989

K. R. Ludwig/R. Vollmer/B. Turi/K. R. Simons/G. Perna, Isotopic constraints on the basemetal ores in southern and central Sardinia. *European Journal Mineralogy* 1, 1989, 657–666.

NIMIS U. A. 2012

P. Nimis/P. Omenetto/I. Giunti/G. Artioli/I. Angelini, Lead isotope systematics in hydrothermal sulphide deposits from the central-eastern Southalpine (northern Italy). *European Journal Mineralogy* 24/1, 2012, 23–37.

NORTHOVER 1998

P. Northover, Annex 1: Analysis of Copper Alloy Metalwork from Arbedo TI. In: M. P. Schindler; *Der Depotfund von Arbedo TI und die Bronzedeptofunde des Alpenraums vom 6. bis zum Beginn des 4. Jh. v. Chr. Il ripostiglio di Arbedo TI e i ripostigli di bronzi della regione alpina dal VI all'inizio del IV sec. a. C.* *Antiqua* 30 (Basel 1998) 289–315.

NORTHOVER 2012

P. Northover, Bronze situlae from Tessin and Graubünden – a metallurgical analysis. In: P. Nagy, Castaneda GR. *Die Eisenzeit im Miosox 1. Universitätsforsch. Prähist. Arch.* 218 (Bonn 2012) 223–247.

ORGEVAL U. A. 2000

J. J. Orgeval/C. Caron/J. Lancelot/P. Omenetto, Genesis of polymetallic and precious-metal ores in the Western Mediterranean (Cevennes, France-Sardinia, Italy). *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section B* 109, 2000, 77–201.

PERNICKA 1990

E. Pernicka, Gewinnung und Verbreitung der Metalle in prähistorischer Zeit. *Jahrb. RGZM* 37, 1990, 21–129.

REITER/WEBER 2005

D. Reiter/L. Weber, Zur Charakterisierung primärer und sekundärer Vererzungen der Blei-Zinklagerstätte von Arzberg (Steiermark). *Joannea Geol. Paläont.* 7, 2005, 25–42.

SCHNEIDER 1998

J. Schneider, Die Herkunft des Siegerländer Münzsilbers. In: C. Dahm/U. Lobbedey/G. Weissgerber (Hrsg.), *Der Altenberg. Bergwerk und Siedlung aus dem 13. Jahr-*

hundert im Siegerland 2. Denkmalpfl. u. Forsch. Westfalen 34 (Bonn 1998) 202–215.

STOS-GALE/GALE 1986

Z. Stos-Gale/N. H. Gale, Oxhide copper ingots and Cyprus and the Bronze Age Metals Trade. *Annu. British School Athens* 81, 1986, 81–100.

STOS-GALE U. A. 1995

Z. Stos-Gale/N. H. Gale/J. Houghton/R. Speakman, Lead isotope data from Iso-trace Laboratory, Oxford: Archaeometry data base 1, ores from the western Mediterranean. *Archaeometry* 37, 1995, 407–415.

STOS-GALE U. A. 1997

Z. A. Stos-Gale/G. Maliotis/N. H. Gale/N. Annetts, Lead Isotope characteristics of the Cyprus copper ore deposits applied to provenance studies of copper oxhide ingots. *Archaeometry* 39, 1997, 83–123.

STUTT GART 1985

D. Planck/J. Biel/G. Süßkind/A. Wais (Red.), *Der Keltenfürst von Hochdorf. Methoden*

und Ergebnisse der Landesarchäologie.

Ausstellungskat. Stuttgart (Stuttgart 1995).

VALERA U. A. 2005

P. G. Valera/R. G. Valera/A. Rivoldini, Sardinian ore deposits and metal in the Bronze Age. In: F. Lo Schiavo/A. Giumlia-Mair/U. Sanna/R. Valera (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Sardinia from the origins to the beginning of the Early Iron Age. Monogr. Instrumentum* 30 (Montagnac 2005) 43–87.

VERGER 2006

S. Verger, La grande tombe de Hochdorf, mise en scène funéraire d'un cursus honorum tribal hors pair. *Siris* 7, 2006, 5–44.

VERGER 2010

S. Verger, La culture de Golasecca et les relations à longue distance entre Europe tempérée et Méditerranée au Premier âge du Fer. *Golasecca. Ausstellungskat. Paris* (Paris 2010).

ZWICKER U. A. 1991

U. Zwicker/N. H. Gale/Z. Stos-Gale, Metallographische, analytische und technologische Untersuchungen sowie Messungen der Bleisotope an Otto-Adelheid-Pfennigen und Vergleichsmünzen meist aus dem 9.–11. Jahrhundert. In: G. Hatz/V. Hatz/U. Zwicker/N. H. Gale, *Otto-Adelheid-Pfennige: Untersuchung zu Münzen des 10./11. Jahrhunderts. Commentationes de nummis saeculorum IX–XI in Suecia repertis. Nova Series* 7 (Stockholm 1991) 59–78.

BILDNACHWEIS

Alle Abb.: D. Modarressi-Tehrani

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Vorlage der Sitzbank aus dem früheisenzeitlichen Fürstengrab von Eberdingen-Hochdorf, wird die wissenschaftliche Untersuchung dieses einzigartigen Befund- und Fundbestandes vervollständigt. Aufgrund ihrer baulichen wie verzierungstechnischen Ausprägung gab es seit der Freilegung der Sitzbank im Verlauf der Ausgrabung sowie der darauffolgenden wissenschaftlichen Beschäftigung mit dem Fund diverse materialtechnische Fragen von hohem Forschungsinteresse. Dazu gehören sowohl Fragen zur allgemeinen materialtechnischen Charakterisierung des Werkstücks, zu seiner Fertigungsgeschichte sowie zur Herkunft der Sitzbank bzw. des Rohmaterials aus dem sie hergestellt wurde. Mit dem von der DFG geförderten Projekt „Die Sitzbank von Hochdorf – Untersuchungen zur Machtdemonstration in der frühen keltischen Welt“ wurde ein umfassendes analytisches Untersuchungsprogramm zu diesen zentralen Fragestellungen durchgeführt, dessen Ergebnisse hier präsentiert werden. Im Rahmen des Vorgehens wurden

ebenfalls Funde aus dem Hochdorfer Umfeld sowie aus dem Bereich der Golasecca-Kultur untersucht und in Beziehung zueinander gesetzt. Die Untersuchungen der chemischen und bleisotopischen Charakteristika der Sitzbank, ihrer einzelnen Konstruktionsteile und der Vergleichsfunde aus der jüngeren Hochdorfer Siedlung sowie aus Norditalien haben interessante Impulse zur Beantwortung der formulierten Fragen erbracht.

Schlagerworte: Metallurgie, Bleisotopie, Provenienz, Sitzbank

ABSTRACT

The presentation of the bench from the Early Iron Age princely tomb of Eberdingen-Hochdorf completes the scientific investigation of this unique find and find inventory. Its structural and ornamental characteristics triggered various materials-technology questions of high research interest, ever since the uncovering of the bench, during the course of the excavation, and the subsequent scien-

tific studies of the find. These include questions about the general characterization of the material of the work piece, its manufacturing history and the origin of the bench and its raw material. The DFG-funded project “The bench of Hochdorf – Investigations into the demonstration of power in the early Celtic world”, was a comprehensive analytical research program focusing on these central questions, and its results are presented here. In the frame of this research, finds from the Hochdorf area as well as from the Golasecca culture were examined and correlated. The investigations of the chemical and lead-isotopic characteristics of the bench, its individual construction parts and the comparative finds from the younger Hochdorf settlement as well as from northern Italy have provided interesting impulses for answering the above questions.

Keywords: metallurgy, lead isotopes, provenience, bench