

8 DAS EISERNE TRÄGERGESTELL: MATERIAL UND HERKUNFT

Roland Schwab, Sylvain Bauvais, Michael Brauns, Alexandre Disser, Philippe Dillmann, Guntram Gassmann und Stéphanie Leroy

Im Rahmen der Ausschreibung für gemeinsame deutsch-französische Forschungsprojekte in den Geistes- und Sozialwissenschaften von der Agence Nationale de la Recherche (ANR) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts „Circulation of iron products in the Iron-Age of Eastern France and Southern Germany: Multidisciplinary and methodological Approaches towards the Provenance of ancient Iron“ (CIPIA), wurde auch das eiserne Trägergestell des Sitzmöbels aus dem Grabhügel und mehrere Eisenobjekte aus der Siedlung von Eberdingen-Hochdorf (Kr. Ludwigsburg) untersucht (Dillmann u. a. 2017). Das Projekt beschäftigte sich mit der Produktion und der Distribution von Eisen während der Hallstatt- und Frühlatènezeit in Südwestdeutschland und Ostfrankreich. Da die Herstellung des Sitzmöbels von Hochdorf im Bereich des Hohenaspergs für möglich erachtet wird (Biel 1982, 99), und in den letzten Jahren späthallstattzeitliche und frühlatènezeitliche Eisenproduktion im Nordschwarzwald und auf der Schwäbischen Alb bekannt geworden ist (Gassmann u. a. 2005), bot es sich an das Eisen des Sitzmöbels mit den bekannten Produktionsorten zu vergleichen.

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Die beiden Arbeitsgruppen aus Deutschland und Frankreich haben zwei unterschiedliche Methoden zur Herkunftsbestimmung von eisernen Objekten entwickelt, die im CIPIA Projekt erstmals gemeinsam eingesetzt wurden und die übereinstimmende und sich ergänzende Ergebnisse geliefert haben (Dillmann u. a. 2017). Eine bereits etablierte Methode ist die systematische Analyse der Schlackeneinschlüsse mittels Massenspektrometrie mit Laserionisation (LA-ICP-MS), um die vorher durch Metallographie und Mikrobereichsanalyse als Verhüttungsschlacken identifizierten Einschlüsse im Metall anhand von Spurenelementen mit datierten Verhüttungsschlacken einer Region zu vergleichen (Coustures u. a. 2003; Desaulty u. a. 2008; Leroy u. a. 2012).

Die Schlacken enthalten einen großen Anteil der Informationen über die chemische Signatur der Erze. Da das im Rennofen produzierte Eisen nicht vollständig von der Schlacke separiert werden kann, enthalten prähistorische Eisenfunde immer noch hohe Volumenanteile der Verhüttungsschlacke und damit Informationen über das verwendete Erz. Die Analyse der Schlacken von Verhüttungsplätzen und der Schlackeneinschlüsse in Metallobjekten gestattet die Verbindung zwischen Produktionsorten und Eisenobjekten herzustellen. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass sich nicht alle Elemente und ihre Verhältnisse zu einander zur Synchronisierung von Erzen und daraus erzeugten Schlacken eignen, da sie aufgrund ihres chemischen Verhaltens in der Schlacke an- oder abgereichert werden (Desaulty u. a. 2008). Bereits die Analyse der Hauptkomponenten durch Elektronenstrahlmikroanalyse erlaubt es jedoch, durch die An- oder Abwesenheit bestimmter Elemente wie Mangan und Phosphor, sowie durch die Verhältnisse anderer Hauptkomponenten, Rückschlüsse auf mögliche Erze zu ziehen und Gruppierungen vorzunehmen (Dillmann/L'Héritier 2007; Disser u. a. 2014; Schwab u. a. 2006). Weiterhin können nur Elemente herangezogen werden, die nicht während des Reduktionsprozesses durch Anteile in der Holzkohle oder in der Ofenwand verändert werden, weshalb sich Elemente der Gruppe der sog. Seltenen Erden (SEE) für die Charakterisierung einer Lagerstätte besonders gut eignen. Je mehr spezifische Elementverhältnisse analytisch bestimmt werden, umso präziser kann die chemische Signatur des verwendeten Erzes wiedergegeben werden, so dass sich durch den Einsatz multivariater Datenanalyse Metall, Schlacke und Erz miteinander verknüpfen lassen (Leroy u. a. 2012). Je nach geologischem Bildungsmilieu sind manche Erze reicher an signifikanten Spurenelementen und entsprechend charakteristisch in ihren Schlackenzusammensetzungen, während die geochemische Differenzierung von Erzen mit geringer Variationsbreite schwieriger ist, weshalb ein zweiter Parameter erforderlich ist. Eine völlig andere

Strategie wird in Mannheim mit dem Einsatz des Re-Os-Isotopensystems verfolgt: Rhenium und Osmium weisen ein siderophiles als auch chalkophiles geochemisches Verhalten auf. Bei partiellen Aufschmelzprozessen im oberen Erdmantel geht Rhenium als das inkompatibelste Element der sechsten Periode in die Schmelze, während Osmium als das kompatibelste Element dieser Gruppe ins Kristallgitter von Mineralen eingebaut wird. Es kommt daher bei der Bildung von Sulfid- bzw. Gesteinsschmelzen zu einer Fraktionierung dieser Elemente, die extreme Unterschiede in ihren charakteristischen $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ - und $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ -Verhältnissen bis z. T. von mehreren hundert Prozent zur Folge haben. Diese extremen Unterschiede können genutzt werden, um z. B. die Eisenerze verschiedener Regionen zu charakterisieren. Bei der Verwitterung von Erzen und Gesteinen wird zwar u. a. auch Osmium freigesetzt, dieses lagert sich dann aber so schnell wie möglich wieder an große reduzierend wirkende Oberflächen wie z. B. organischen Kohlenstoff oder Eisenhydroxiden an. Daher lassen sich in Schwarzschiefern aber auch in lateritischen Eisenerzen z. T. deutlich erhöhte Os-Gehalte nachweisen. Bei der Verhüttung von Eisenerzen wird Osmium im metallischen Eisen konzentriert. Verhüttungsversuche mit Eisenerzen aus dem Nordschwarzwald haben gezeigt, dass die Os-Isotopensignatur des Erzes unverändert ins Metall übergeht, so dass die Bestimmung der Os-Isotopensignatur auch eine direkte Zuordnung eines archäologischen Eisenobjekts zu einer Lagerstätte erlaubt (Brauns u. a. 2013). Die Osmiumisotopenverhältnisse sind, wie Blei- oder Strontiumisotopenverhältnisse, sowohl vom geologischen Alter der Quelle, als auch vom Verhältnis Mutter- zu Tochternuklid abhängig und es bedarf somit eines zweiten – unabhängigen – Diskriminierungsverfahrens, da gleiche Isotopenverhältnisse an unterschiedlichen Orten auftreten können. Im Rahmen des CIPIA-Projekts wurden die Osmiumisotopenverhältnisse hallstattzeitlicher Eisenobjekte wie Eisenbarren, Radreifen oder Luppen und relevanter Eisenerze in Süddeutschland und Ostfrankreich bestimmt sowie gleichzeitig die Spurenelementmuster von Eisenerzen und Verhüttungsschlacken bekannter eisenzeitlicher Verhüttungsplätze definiert und die Schlackeneinschlüsse der Eisenobjekte durch LA-ICP-MS gemessen (Dillmann u. a. 2017). Die dadurch gewonnenen Daten lassen vergleichende Untersuchungen von Eisenteilen an dem Sitzmöbel im Grab von Hochdorf zu. Für die metallographische Untersuchung und die Bestimmung der Schlackeneinschlüsse wurden mehrere Anschliffe vom vollständigen Querschnitt von einer Strebe des Trägergestells hergestellt. Dabei konnten nur die Zwischenstre-

ben untersucht werden, da das eigentliche Trägergestell vollständig korrodiert war. Metallographische Untersuchungen und Bestimmung der Hauptkomponenten der Schlackeneinschlüsse mit EDX wurden jeweils am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie in Mannheim und im „Laboratoire Archeomateriaux et Prevision de l'Alteration et Laboratoire Metallurgies et Cultures“ der CNRS-IRAMAT in Saclay durchgeführt. Da die Einschlüsse in diesen Streben sehr klein sind (10–20 μm) und der Laserspot des in Orléans im Ernest Babelon Centre (UMR-5060 IRAMAT CNRS) zur Verfügung stehenden Lasers mit 80 μm zu groß war, wurden Spurenelementanalysen in Mannheim mit einem Excimerlaser (Resonetics Resolution M-50-E) mit einer Wellenlänge von 193nm in Argonfluorid als Gasgemisch durchgeführt. Die Detektion der Elemente erfolgte in einem Massenspektrometer mit Quadrupol-Fokussierung (Thermo Fisher Elemental X Series II) mit induktiv gekoppeltem Plasma als Ionenquelle (ICP-MS). Es wurden insgesamt 35 Einschlüsse analysiert. Davon 21 in einem ersten und 14 in einem zweiten Anschliff. Für die Bestimmung der Osmiumisotopenverhältnisse wurde eine weitere Probe vom Querschnitt der Strebe entnommen, die entlang der makroskopisch sichtbaren Schweißnaht (s. u.) in zwei Hälften geteilt wurde. Da Eisenobjekte nur wenige ng kg^{-1} Osmium enthalten muss Osmium angereichert werden, indem Osmium aus den in Königswasser gelösten Eisenproben als flüchtiges OsO_4 ab destilliert und auf tiefgefrorener H_2SO_4 kondensiert wird. Erst nach einer Reinigung durch eine weitere Destillation kann das $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ -Verhältnis mit dem Thermionenmassenspektrometer (NTIMS) als negativ geladenes OsO_3 bestimmt werden (Brauns 2001).

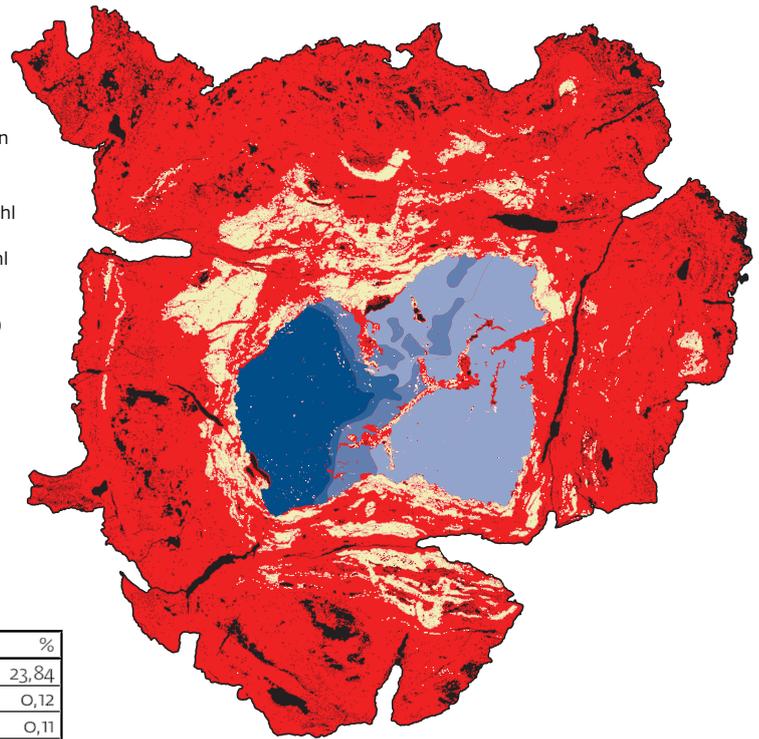
Die Kohlenstoffgehalte wurden durch digitale Bildanalyse über die Flächenanteile A_A der Gefüge Bestandteile Ferrit (α_{Fe}) und Perlit ($\alpha_{\text{Fe}} + \text{Fe}_3\text{C}$) bestimmt. Härtemessungen wurden mit dem Prüfverfahren nach Vickers im Kleinstlastbereich mit einer Last von 1 kp = 9,81 N (HV 1) mit einer Verweilzeit von 5 s durchgeführt.

ERGEBNISSE

Das Metall

Die Zwischenstrebe des Trägergestells ist sehr stark korrodiert und nur noch ein Viertel des Gesamtvolumens der Probe ist metallisch (Abb. 1). Dieses besteht aus zwei unterschiedlichen Stahlsorten, die miteinander verschweißt sind (Abb. 2). Die eine Hälfte besteht aus einem eutektoiden Stahl mit einem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 0,8 % (Abb. 3) und

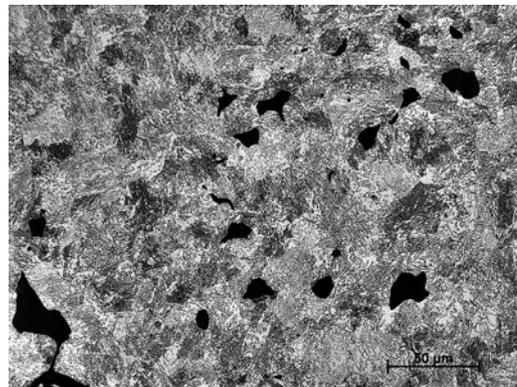
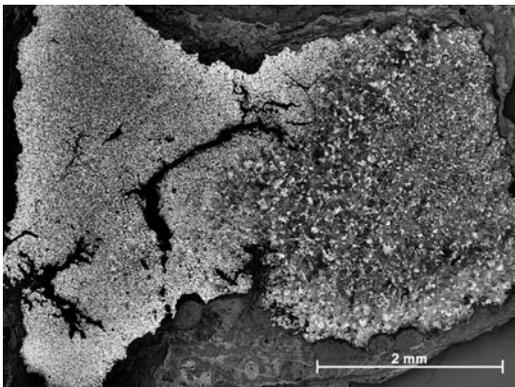
Grenzen des Querschnitts			Porositäten, Kavitäten
Ferrit (0,02/0,1 % C)			Unhärter Stahl (0,1/0,3 % C)
Nadeliger Stahl-Ferrit (0,3/0,5 % C)			Untereutektoider Stahl (0,5/0,7 % C)
Eutektoider Stahl (0,7/0,9 % C)			Übereutektoider Stahl (0,9/1,1 % C)
Eisen-Hydroxidoxid (Korrosionsprodukte)			Eisenoxid (Korrosionsprodukte)
Verändertes Material			Fayalitische Schlacke
Sandig-lehmige Schlacke			Hammerschlag
Holzkohle			Gestein



0,5 cm

Zone		Fläche (cm ²)	%
Metall	0,02-0,1 % C	0,25	23,84
	0,1-0,3 % C	0,00	0,12
	0,3-0,5 % C	0,00	0,11
	0,5-0,7 % C	0,00	0,15
	0,7-0,9 % C	0,01	1,09
	0,9-1,1 % C	0,00	0,00
Korrosionsprodukte		0,61	58,44
Schlackeneinschlüsse		0,00	0,08
Poren		0,10	9,72
Gesamt		1,05	100,00

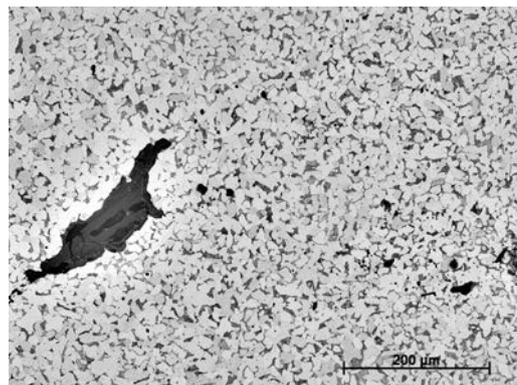
Anteil der Einschlüsse im Metall	0,31
----------------------------------	------

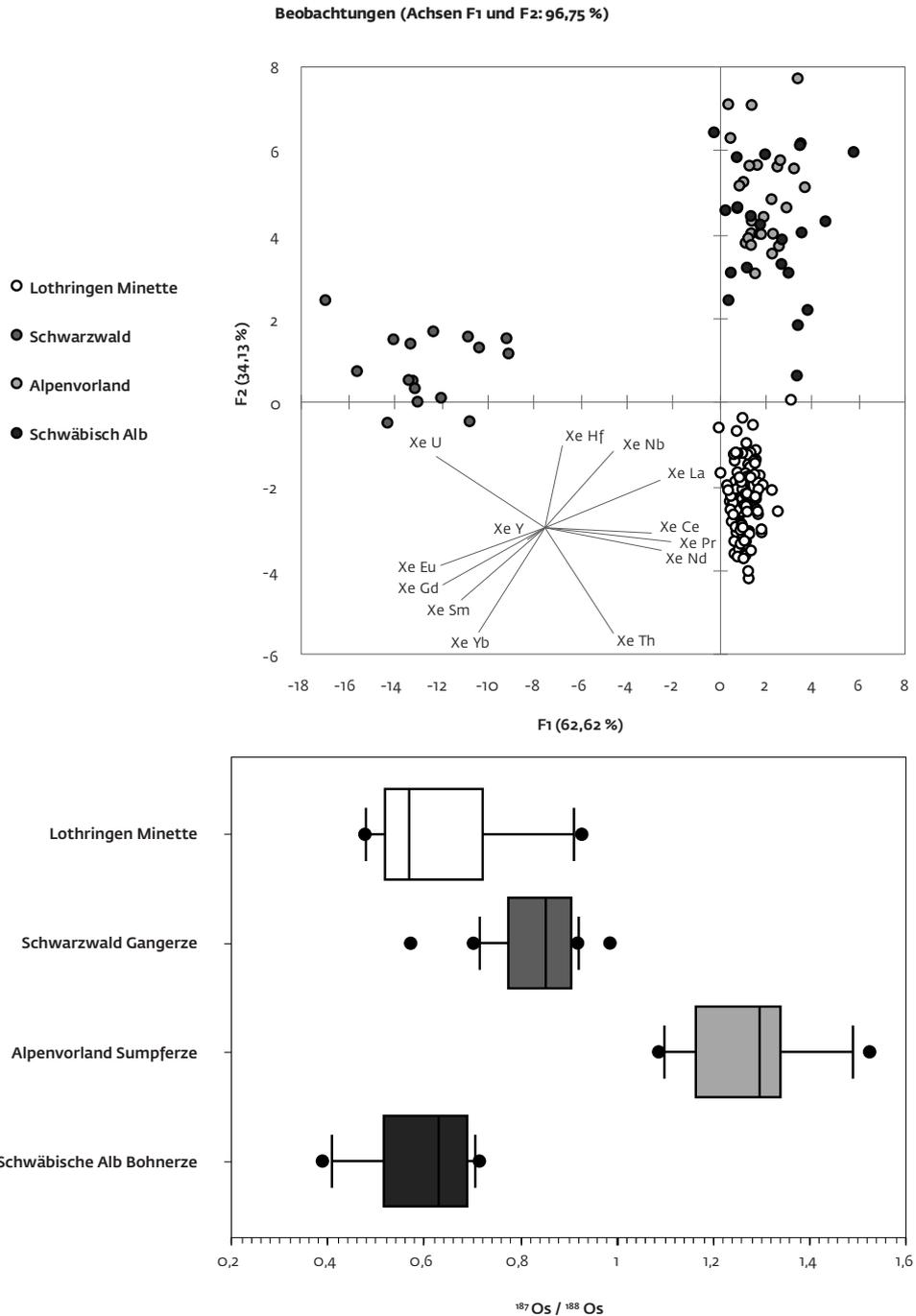


- 1 Bildanalyse des vollständigen Querschnitts des Trägergestells mit den jeweiligen Phasen und ihren Volumenanteilen.
- 2 Übersichtsaufnahme des metallischen Kerns mit den beiden unterschiedlich aufgekohlten Hälften (geätzt mit alkoholischer Salpetersäure).
- 3 Detailansicht der kohlenstoffreicheren Partie mit Perlit und glasigen Schlackeneinschlüssen (geätzt mit alkoholischer Salpetersäure).
- 4 Detailansicht der kohlenstoffärmeren Partie mit einem fayalitischen Schlackeneinschluss in einer ferritisch-perlitischen Matrix (geätzt mit alkoholischer Salpetersäure).

einer mittleren Härte von 218 HV 1 ± 10. Die Schlackeneinschlüsse in diesem Bereich sind ausschließlich glasig und ihr durchschnittlicher Volumenanteil V_V liegt bei 0,8 % ± 0,1.

Die andere Hälfte der Strebe besteht aus einem hypoeutektoiden Stahl (Abb. 4) mit durchschnittlich 0,2 % Kohlenstoff und einer mittleren Härte von 115 HV 1 ± 5. Die Schlackeneinschlüsse bestehen hier aus Fayalit (Fe_2SiO_4) in einer glasigen Matrix mit vereinzelt Wüstendendriten (FeO). Der Volumenanteil der Schlackeneinschlüsse liegt hier bei 0,7 %, wobei der hohe Anteil korrodierter Bereiche die Bestimmung nur an einer Stelle möglich machte.





Zur Herkunftsfrage

5 Ergebnisse der linearen Diskriminanzanalyse (LDA) der Spurenelemente und der Osmiumisotopenanalyse der verschiedenen Vorkommen.

Durch die Kombination der Spurenelement- und der Osmiumisotopenanalyse lassen sich die bekannten Produktionsregionen in Süddeutschland und in Ostfrankreich voneinander trennen. In Abb. 5 sind die Ergebnisse einer linearen Diskriminanzanalyse (LDA) der Spurenelemente, sowie die Osmiumisotopenverhältnisse der verschiedenen Vorkommen dargestellt. Durch die Spurenelementanalyse lassen sich die Verhüttungsplätze im Nord-schwarzwald von denen in Lothringen und von den Schmelzplätzen der Schwäbischen Alb und im bayerischen Voralpenland sehr gut trennen (Abb. 5). Die beiden letzteren bilden eine

gemeinsame Gruppe, die sich auf Grundlage dieser Methode nicht trennen, aber dafür sehr gut durch ihre deutlich unterschiedlichen Osmiumisotopenverhältnisse differenzieren lässt. Allein durch die Osmiumisotopenverhältnisse lassen sich wiederum die Minette in Lothringen nicht von den Erzen der Schwäbischen Alb unterscheiden. Es sind also beide Methoden notwendig, um eine eindeutige Trennung der einzelnen Vorkommen vornehmen zu können (Dillmann u. a. 2017).

Was die Proben des Sitzmöbels angeht, so verweist die Analyse der Hauptkomponenten und der Spurenelemente in den Schlackeneinschlüssen ebenso wie die Untersuchung der

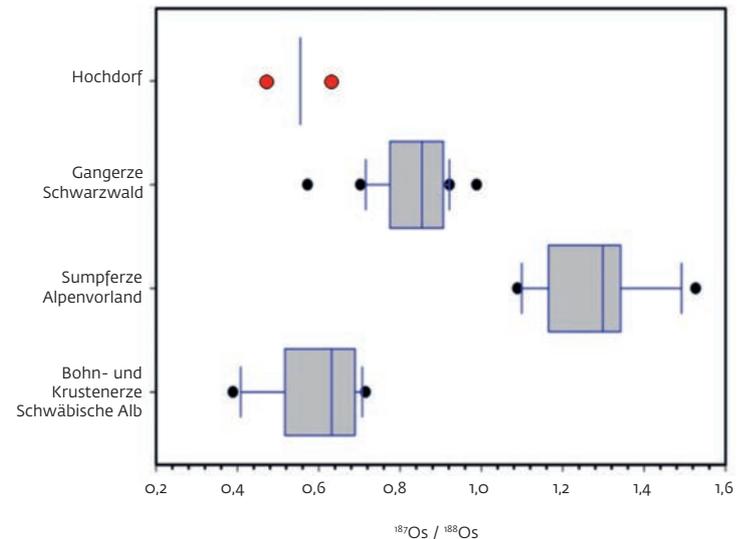
Metallgefüge darauf, dass es sich um zwei unterschiedliche Stahlsorten handelt, die miteinander verschweißt worden sind. Auch die Osmiumisotopenverhältnisse beider Hälften sind vollkommen unterschiedlich, wobei der kohlenstoffreichere Teil eine für die Eisenerze der Schwäbischen Alb oder Lothringen typische Os-Isotopensignatur ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,6329$) aufweist, während der kohlenstoffärmere Bereich eine für die Region ungewöhnlich niedrige radiogene Signatur ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,4764$) besitzt (Abb. 6). Die Analyse der Schlackeneinschlüsse zeigt keine Vereinbarkeit des kohlenstoffärmeren Bereiches mit einer Produktion in Süddeutschland oder in Ostfrankreich. Auch Lothringen kann für den kohlenstoffreicheren Teil ausgeschlossen werden, während die Schwäbische Alb und das bayerische Alpenvorland möglich sind (Abb. 7).

Einige Eisenfunde aus der frühlatènezeitlichen Siedlung von Hochdorf weisen dagegen die Signatur der Erze im Nordschwarzwald auf, darunter ein Luppenrest (Dillmann u. a. 2017). Die Zusammensetzungen der Schlackeneinschlüsse dieser Objekte bestätigen ebenfalls die Übereinstimmungen mit den Verhüttungsplätzen im Nordschwarzwald. In der Siedlung von Hochdorf sind mehrere solcher Luppenreste gefundenen worden (siehe Modarressi-Tehrani 2004, 48), was möglicherweise darauf hindeuten könnte, dass die unraffinierten Luppen aus dem Schwarzwald dorthin transportiert und vermutlich auch erst dort weiterverarbeitet worden sind.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Die Untersuchungen an den Eisenstreben gestatten keine direkten Rückschlüsse auf den Herstellungsort des Sitzmöbels, da alle angewandten Methoden Ausschlussverfahren sind und auch das eiserne Trägergestell nicht zwingend zeitgleich mit dem Rest hergestellt worden sein muss. Die Übereinstimmung von Daten ist also nicht mit einer positiven Zuordnung gleichzusetzen, sondern sie verweist nur auf eine Möglichkeit, während im Fall der Nichtübereinstimmung eine klare Aussage getroffen werden kann.

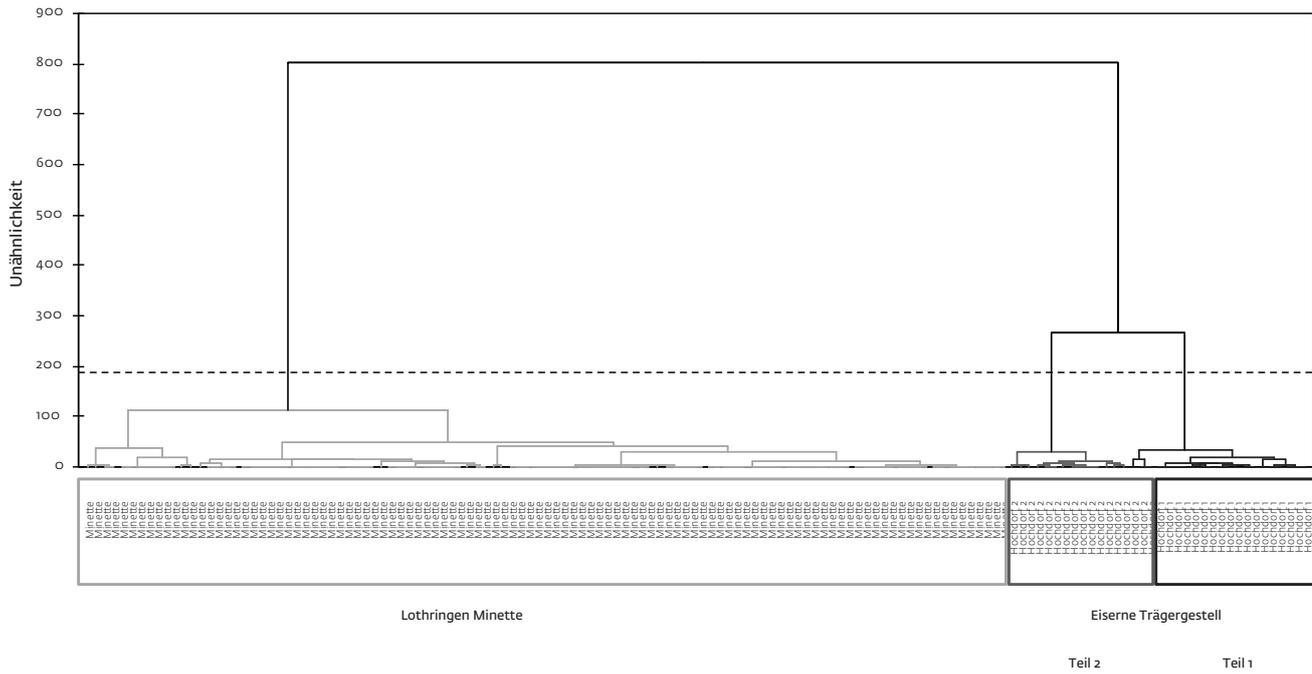
Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist festzuhalten, dass der kohlenstoffärmere Teil des Trägergestells des Sitzmöbels nicht mit den bekannten Produktionszentren in Südwestdeutschland oder Ostfrankreich in Einklang zu bringen ist, während der kohlenstoffreichere Teil chemisch und isotopisch mit Erzen der Schwäbischen Alb kompatibel ist. Die Tatsache, dass das Trägergestell aus zwei chemisch wie isotopisch unterschiedlichen Eisensorten besteht, ist für die Zeitstellung nicht ungewöhnlich. So wurden im Rahmen des CIPIA Projektes



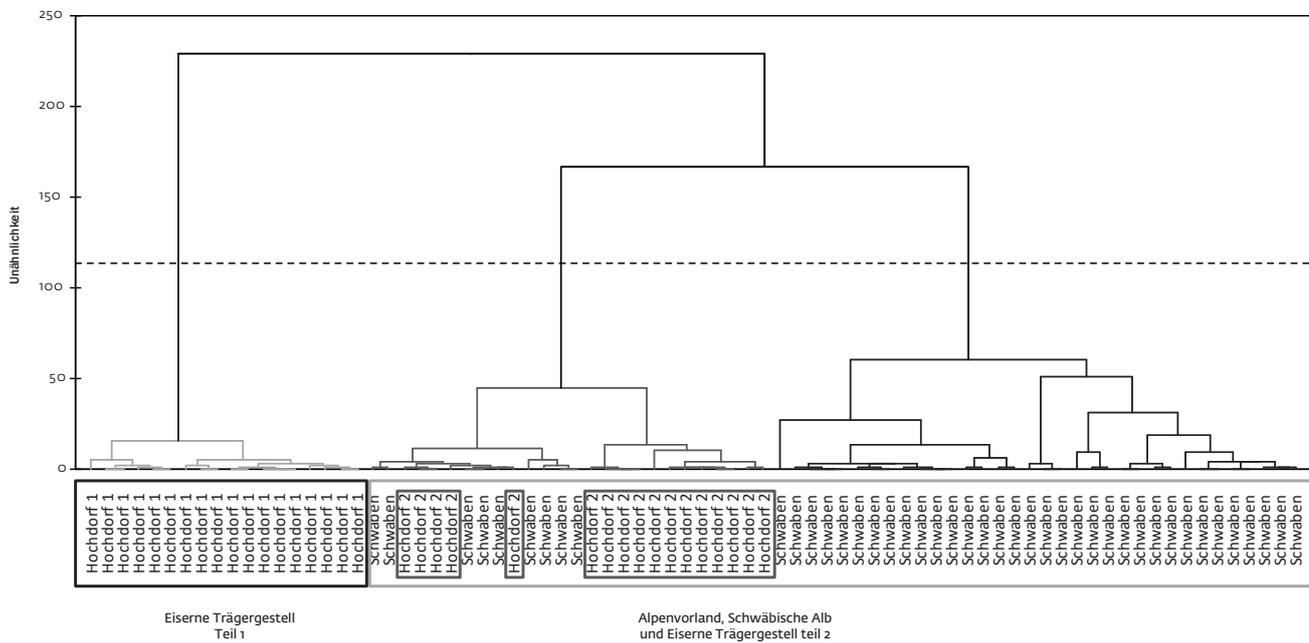
auch fünfzehn Doppelspitzbarren untersucht, von welchen sieben aus zwei Hälften bestehen, wovon wiederum fünf aus zwei völlig unterschiedlichen Eisensorten verschweißt wurden (Dillmann u. a. 2017). Wie auch das Beispiel der Luppen aus dem Schwarzwald in der Siedlung von Hochdorf zeigt, wurde Eisen über kürzere oder längere Distanzen auch in Form von Luppen transportiert und einige Werkstätten scheinen daraus Halbzeug, wie die Doppelspitzbarren produziert zu haben. Insofern haben wir es mit unterschiedlichen Handelskreisläufen zu tun, in welchen sowohl Barren, als auch unraffiniertes Roheisen verhandelt wurden (siehe Berranger/Fluzin 2012; Bauvais/Fluzin 2013). Die Verhüttungsplätze bei Neuenbürg im Nordschwarzwald (Gassmann u. a. 2005; 2006) waren verkehrstechnisch am günstigsten zu Hochdorf gelegen, da das Eisen über die Enz hätte transportiert werden können. Wie die Untersuchungen von Eisenfunden aus der frühlatènezeitlichen Siedlung in Hochdorf zeigen, ist dies in späterer Zeit auch geschehen. Das eiserne Trägergestell des Sitzmöbels aus dem Grab ist jedoch eindeutig nicht mit dem Nordschwarzwald in Verbindung zu bringen. Weder die chemische Signatur, noch die Osmiumisotopenverhältnisse sind mit den Erzen des Nordschwarzwalds kompatibel und auch die zeitliche Einordnung der dortigen Anlagen ist jünger anzusetzen, als die Herstellung des Sitzmöbels (Gassmann u. a. 2006). Insofern ergeben sich mehrere hypothetische Möglichkeiten: So wurde neben der vermuteten lokalen Herstellung im Umfeld des Hohenaspergs gelegentlich auch die Meinung geäußert, dass die Sitzbank im süd- oder südostalpinen Raum hergestellt worden sein konnte (Krause 1996, 315). Stéphane Verger hat unlängst darauf hingewiesen, dass die Verzierungen der Rückenlehne im Stil der Golasecca Kultur gestaltet sind (Verger 2006), während die dargestellten Motive

6 Osmiumisotopenanalyse der verschiedenen Erzkategorien als Box-Whisker-Plot mit Median und Ausreißern. Die roten Punkte sind Eisenfunde aus der frühlatènezeitlichen Siedlung von Hochdorf, die schwarzen Punkte entsprechen den beiden Eisensorten des Trägergestells.

Dendrogramm



Dendrogramm



7 Ergebnisse der Clusteranalyse der Spurenelemente in den Schlackeneinschlüssen.

hingegen an der nördlichen Adria (Picenum) verbreitet sind. Insofern ist es naheliegend, die Herkunft in den Gebieten der Golasecca- und Este-Kulturen zu suchen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt verfügen wir aber über keine Daten aus diesen Regionen und so wird es eine Aufgabe zukünftiger Forschung sein, die Untersuchungen entsprechend zu erweitern. Weiterhin ist eine Produktion einer der Eisenhälften der Strebe auf der Schwäbischen Alb im Rahmen

der Analysendaten möglich, wenngleich unwahrscheinlich. Geht man von einer lokalen Herstellung aus, fehlt die mögliche Herkunft des Eisens der zweiten Hälfte und folgt man der stilistischen Einordnung einer Herstellung in Oberitalien, so müsste das Eisen von der Alb nach Italien exportiert worden sein, was kaum denkbar ist. So würde letztlich nur noch die Möglichkeit einer späteren Reparatur in Frage kommen, wofür es aber keine Anzeichen gibt.

LITERATUR

BAUVAIS/FLUZIN 2013

S. Bauvais/P. Fluzin, The Acquisition and Circulation of Iron Raw Material during Iron Age II in the North of the Paris Basin (France). In: J. Humphris/T. Rehren (Hrsg.), *The World of Iron* (London 2013) 322–328.

BERRANGER/FLUZIN 2012

M. Berranger/P. Fluzin, From raw iron to semi-product: Quality and circulation of materials during the Iron Age in France. *Archaeometry* 54/4, 2012, 664–684.

BIEL 1982

J. Biel, Ein Fürstengrabhügel der späten Hallstattzeit bei Eberdingen-Hochdorf. *Germania* 60/1, 1982, 61–104.

BRAUNS 2001

C.M. Brauns, A rapid, low-blank technique for the extraction of osmium from geological samples. *Chemical Geology* 176, 2001, 379–384.

BRAUNS U. A. 2013

M. Brauns/R. Schwab/G. Gassmann/G. Wieland/E. Pernicka, Provenance of Iron Age iron in Southern Germany: a new approach. *Journal Arch. Scien.* 40/2, 2013, 841–849.

COUSTURES U. A. 2003

M. P. Coustures/D. Beziat/F. Tollon/C. Dommargue/L. Long/A. Rebiscoul, The use of trace element analysis of entrapped slag inclusions to establish ore e bar iron links: examples from two Gallo-Roman iron-making sites in France (Les Martyrs, Montagne Noire and Les Ferrys, Loiret). *Archaeometry* 45/4, 2003, 599–613.

DESAULTY U. A. 2008

A.-M. Desaulty/C. Mariet/P. Dillmann/J. L. Joron/P. Fluzin, A provenance study of iron archaeological artefacts by inductively coupled plasma-mass spectrometry multi-elemental analysis. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 63/11, 2008, 1253–1262.

DILLMANN/L'HÉRITIER 2007

P. Dillmann/M. L'Héritier, Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes. *Journal Arch. Scien.* 34/11, 2007, 1810–1823.

DILLMANN U. A. 2017

P. Dillmann/R. Schwab/S. Bauvais/M. Brauns/A. Disser/S. Leroy/G. Gassmann/P. Fluzin, Circulation of iron products in the North-Alpine area during the end of the First Iron Age (6th–5th c. BC): a combination of chemical and isotopic approaches. *Journal Arch. Scien.* 87, 2017, 108–124.

DISSER U. A. 2014

A. Disser/P. Dillmann/C. Bourgain/M. L'Héritier/E. Vega/S. Bauvais/M. Leroy, Iron reinforcements in Beauvais and Metz Cathedrals: from bloomery or finery? The use of logistic regression for differentiating smelting processes. *Journal Arch. Scien.* 42/2, 2014, 315–333.

GASSMANN U. A. 2005

G. Gassmann/A. Hauptmann/C. Hübner/T. Ruthardt/Ü. Yalçın, Forschungen zur keltischen Eisenerzverhüttung in Südwestdeutschland. *Forsch. u. Ber. Vor- und Früh-*

gesch. Baden-Württemberg 92 (Stuttgart 2005).

GASSMANN U. A. 2006

G. Gassmann/M. Rösch/G. Wieland, Das Neuenbürger Erzrevier im Nordschwarzwald als Wirtschaftsraum während der Späthallstatt- und Frühlatènezeit. *Germania* 84/2, 2006, 273–305.

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).

LEROY U. A. 2012

S. Leroy/S.X. Cohen/C. Verna/B. Gratuze/F. Tereygeol/P. Fluzin/L. Bertrand/P. Dillmann, The medieval iron market in Ariège (France). Multidisciplinary analytical approach and multivariate analyses. *Journal Arch. Scien.* 39/4, 2012, 1080–1093.

MODARRESSI-TEHRANI 2004

D. Modarressi-Tehrani, Ein Ensemble frühlatènezeitlicher Metallverarbeitung aus der Siedlung von Eberdingen-Hochdorf (Lkr. Ludwigsburg). *Metalla* 11/1, 2004, 1–148.

SCHWAB U. A. 2006

R. Schwab/D. Heger/B. Höppner/E. Pernicka, The Provenance of Iron Artefacts from Manching: A multitechnique Approach. *Archaeometry* 48/3, 2006, 431–450.

VERGER 2006

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

BILDNACHWEIS

Abb. 1: S. Bauvais. – Abb. 2–4, 6: R. Schwab. – Abb. 5: P. Dillmann/R. Schwab. – Abb. 7: P. Dillmann.

ZUSAMMENFASSUNG

Das eiserne Trägergestell wurde metallographisch hinsichtlich des konstruktiven Aufbaus und mit zwei unterschiedlichen Verfahren bezüglich der Herkunft des Eisens untersucht. Demnach wurde die Strebe aus zwei unterschiedlichen Stahlsorten verschweißt, für die es auf Grund der durchgeführten Analysen der Spurenelementzusammensetzung der Schlackeneinschlüsse und der Osmiumisotopenverhältnisse des Metalls zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine gemeinsame Herkunft gibt. Da eine Metallhälfte der Strebe mit keinem der bekannten eisenzeitlichen Produktionszentren in Südwestdeutschland oder Ostfrankreich in Einklang zu bringen ist, kann es sich nur um importiertes Material handeln, weshalb eine lokale Produktion des Gestells unwahrscheinlich erscheint.

Schlagerworte: Metallographie, Osmiumisotopie, Schlackeneinschlüsse, Spurenelementanalyse

ABSTRACT

The iron support frame was examined metallographically, with regards to the structural design, and with two different methods regarding the origin of the iron. According to those examinations, the strut was welded from two different types of steel, for which there is currently no common origin identified, based on the analyses carried out of the trace element composition of the slag inclusions and the osmium isotope ratios of the metal. Since one half of the metal in the longwall cannot be reconciled with any of the known Iron Age production centres in south-west Germany or eastern France, that material can only be imported, which is making a local production of the frame unlikely.

Keywords: metallography, osmium isotopes, slag inclusions, trace element analysis