

# Goldene Zeiten? – Europäische Goldvorkommen und ihr Bezug zur Himmelsscheibe von Nebra

mit 1 Beilage (CD: enthält Anhang I und II)

GREGOR BORG UND ERNST PERNICKA

## Einleitung

Geochemische und rohstoffgeologische Untersuchungen von europäischem Naturgold im Vergleich zu Artefaktgold haben in den letzten Jahren durch den Fund der bronzezeitlichen Himmelsscheibe von Nebra und ein hierdurch mögliches interdisziplinäres Forschergruppenprojekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG-FOR 550) erhebliche neue Aufmerksamkeit erfahren. Nachdem bereits in den 1970er- und 1980er-Jahren umfangreiche Untersuchungen zu bronzezeitlichen Artefakten in ganz Europa durchgeführt worden waren (Hartmann 1970; Hartmann 1982) (Abb. 1), konnte im Rahmen von FOR 550 nun auch eine Vielzahl europäischer primärer und sekundärer Naturgoldvorkommen beprobt (Abb. 2) und dabei nicht nur geochemisch wie rohstoffgeologisch, sondern auch lagerstättenkundlich untersucht werden<sup>1</sup>.

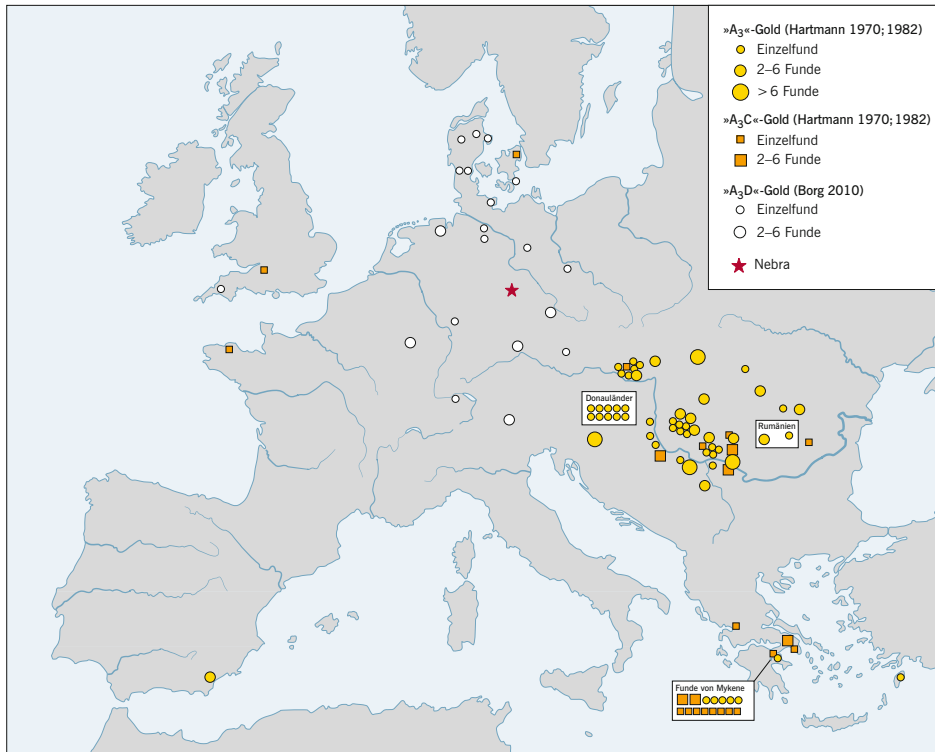
## Die geochemischen Charakteristika des Goldes der Himmelsscheibe aus lagerstättenkundlicher Sicht

Die goldenen Ornamente oder Objekte auf der ansonsten aus Zinnbronze gefertigten Himmelsscheibe von Nebra stellen in ihrem farblichen Kontrast den Bildinhalt der Himmelsscheibe deutlich sichtbar dar. Dabei fällt dem Betrachter leicht auf, dass der Farbton des Goldes der meisten Objekte von einem fahlen, grünstichigen Goldton ist, wie er silberreichen Goldlegierungen eigen ist, während das Gold der Barke im Ton wärmer erscheint. Unterschiedliche Goldzusammensetzungen waren und sind daher schon bei makroskopischer Betrachtung direkt erkennbar. Analysen des Goldes mittels Röntgenfluoreszenzanalyse mit Synchrotronstrahlung ergaben messbare Unterschiede (Pernicka u. a. 2003): Eine Gruppe von Goldobjekten (Sonne, Sichelmond und die meisten Sterne, Phase I) enthielt ca. 21 % Silber und zwischen 0,35 % und 0,45 % Kupfer. Der Horizontbogen und der Stern Nr. 23 (Phase II), der bei der Anbringung des zweiten (verlorenen) Horizontbogens versetzt worden war, wiesen ganz ähnliche Silber- und Kupfergehalte

---

1 Anmerkung der Redaktion: Aufgrund seiner Thematik wurden die Bildunterschriften dieses Beitrages – abweichend von anderen Artikeln

des vorliegenden Bandes – in Deutsch und Englisch verfasst.



**Abb. 1** Verbreitungskarte von mittel- und westeuropäischem bronzezeitlichem Artefaktgold der Zusammensetzungsgruppen  $A_3$ ,  $A_3C$  (Hartmann 1970; Hartmann 1982) und der von Borg (2010) unterschiedenen Untergruppe  $A_3D$ , das eine deutliche Ähnlichkeit zum Gold der Himmelscheibe der Phase I aufweist. Man beachte bei dem sog. Rillaton-Becher mit  $A_3D$ -Zusammensetzung die Lage dieses Einzelfundes in Cornwall.

*Fig. 1* Distribution map of Central and Western European Bronze Age artefact gold of the composition groups  $A_3$ ,  $A_3C$  (Hartmann 1970; Hartmann 1982) and the subgroup  $A_3D$  distinguished by Borg (2010), which is clearly similar to the phase I gold of the Sky Disc. Note the location of the Rillaton Cup single find with an  $A_3D$  composition in Cornwall.

auf, unterscheiden sich aber leicht im Zinngehalt, nämlich zwischen 0,3 % und 0,7 %, während die erste Gruppe um 0,2 % Zinn enthielt. Nur die Barke wies einen deutlich niedrigeren Silbergehalt von ca. 14 % auf. Die Konzentrationen von Kupfer und Silber waren ähnlich wie in der ersten Gruppe.

Später wurden Proben einiger Sterne, der Sonne, des Sichelmondes und der Barke durch Laserablation gekoppelt mit Massenspektrometrie neuerlich analysiert (Lockhoff/Pernicka 2014) und die Ergebnisse im Wesentlichen bestätigt, wenn auch die erste Gruppe nunmehr ca. 23 % und die Barke 16 % Silber aufwies. Der Unterschied lässt sich dadurch erklären, dass die Informationstiefe der Röntgenfluoreszenzanalyse geringer ist als die der Laserablation. Es deutet sich daher an, dass die obersten Schichten der Goldobjekte durch die Bodenablagerung leicht an Silber abgereichert sind. Durch die nachweisempfindliche Methode der Laserablation konnten die Konzentrationen weiterer Elemente, wie Palla-

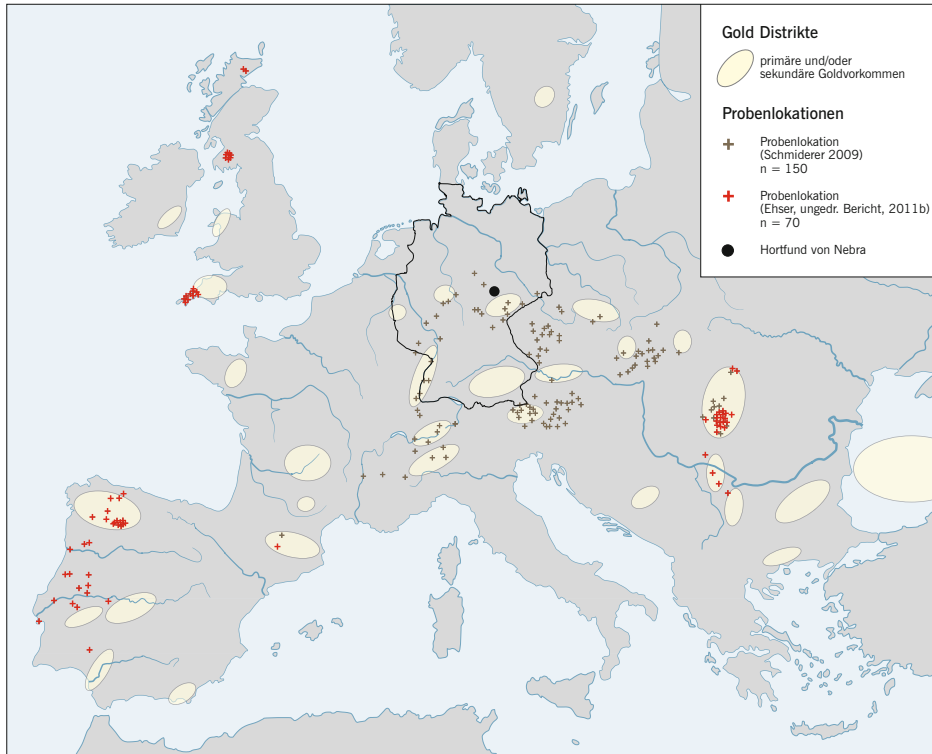


Abb. 2 Karte der innerhalb des DFG Forschergruppenprojektes 550 in Europa beprobten primären und sekundären Naturgoldvorkommen (Borg u. a. in Vorb.).

Fig. 2 Map of the primary and secondary natural gold deposits in Europe sampled within the DFG Research Group Project 550 (Borg et al. in preparation).

dium, Platin, Mangan, Eisen, Zink, Zinn, Antimon, Blei und Bismut bestimmt werden. Die Elemente Cobalt, Nickel, Arsen und Tellur lagen jeweils unter der Nachweisgrenze von 0,1 bis 10 mg/kg. Hierbei bestätigte sich, dass sich das Gold des Horizontbogens von der Hauptgruppe nicht nur im Zinngehalt, sondern auch im Pd/Pt-Verhältnis unterscheidet und somit mindestens eine andere Charge, wahrscheinlich anderer Herkunft darstellt.

Das auffälligste Merkmal der Goldzusammensetzung war von Anfang der Untersuchungen an der hohe Silbergehalt von mehr als 20% und der erhebliche Zinngehalt (0,2–0,8%) der Objekte aus den Phasen I und II (Lockhoff/Pernicka 2014). Rohstoffgeologisch und lagerstättenkundlich ergaben sich hieraus verschiedene prinzipielle, wenn auch noch keine geografischen Hinweise auf die Herkunft des Naturgoldes, die im Folgenden erläutert werden sollen.

Ein hoher Silbergehalt des Goldes weist entweder auf (sog. hypogenes) Primärgold aus hydrothermalen »Goldadern« im Gestein (Abb. 3–5) hin oder aber auf (sog. supergenes) Sekundärgold aus dem oxidierten Verwitterungsbereich von Goldadern oder Seifengold aus Bächen und Flüssen (Abb. 6), das aber ohne langen Transport noch nahe der primären



**Abb. 3** Goldführender Quarzgang im Glimmerschiefer. Aufgelassenes Bergwerk Stüblbau, Revier Schellgaden im Lungau, Hohe Tauern, Österreich.

*Fig. 3* Auriferous quartz vein in mica schist. Abandoned Stüblbau mine, Schellgaden district, Lungau, Hohe Tauern, Austria.



**Abb. 4** Oberflächennaher und oxidierter, goldführender Quarzgang im gebänderten Magnetit-Quarzit. Schiffskuppe, Thüringen.

*Fig. 4* Near surface and oxidised auriferous quartz vein in banded magnetite quartzite. Schiffskuppe, Thuringia.

Lagerstätte gewonnen worden sein muss. Dies ergibt sich daraus, dass silberführendes Seifengold beim fluviatilen Transport in gut durchlüfteten und daher sauerstoffreichen Bächen und Flüssen als Roll- und Springfracht mitgeführt wird und es dabei zunehmend zur Entsilberung des Goldes kommt. Im Gegensatz zum Gold ist Silber im Flusswasser erheblich besser chemisch löslich, sodass die zunehmend ausgewalzten und durch mechanische Abrasion kleiner werdenden Nuggets zunächst vom Rand aus und schließlich in Gänze einen großen Teil ihres Silbers verlieren. Stark an Silber verarmte und dadurch zum Teil poröse sowie durch Bioakkumulation mit Gold angereicherte Randbereiche von Goldmikronuggets sind gut dokumentiert (Bischoff 1994; Bischoff 1997; Falconer u. a. 2006; Reith u. a. 2007) und wurden auch im Rahmen unserer Studien von Schmiderer (2009) umfangreich untersucht und beschrieben. Distale oder reife Goldmikronuggets sind typischerweise sehr stark an Silber abgereichert und weisen daher eine große Homogenität und vergleichsweise große Reinheit auf (Dill u. a. 2009). Hochreines sekundäres Gold bildet sich allerdings nicht nur in distalen, d. h. reifen Flusseifen, sondern auch als dünnste, randliche, authigene Aufwachsungen auf (Mikro-)Nuggets in Bodenprofilen und stagnierenden Gewässern, wo es durch (elektro-)chemische Lösungsgefälle und mikrobiologische Prozesse zur Mobilisierung, Wiederausfällung und Anlagerung von Gold kommen kann (Clough/Craw 1989; Bischoff 1994; Bischoff 1997; Falconer u. a. 2006; Reith u. a. 2007; Borg 2014).



Die Nachweisgrenzen der bei diesen metallogenetischen Untersuchungen verwendeten Analysen des Goldes sind von den eingesetzten (mikro-)analytischen Methoden abhängig und werden von Falconer u. a. (2006) für die Elektronenstrahlmikroanalyse (EPMA) z. B. für Silber mit 0,2 % und für Kupfer mit 0,1 % angegeben. Elementkartierungen goldreicher dünner Ränder von Mikronuggets sind bisher nur mit semi-quantitativer Analytik durchgeführt und dargestellt worden (z. B. Falconer u. a. 2006), welche keine präzisen Aussagen zur Reinheit des Goldes zulassen.

Bioakkumulierte, sehr dünne, goldreiche äußere Ränder an Mikronuggets sind auch von anderen Autoren beschrieben worden (Keeling 1993; Bischoff 1994; Bischoff 1997;



**Abb. 6** Historisches Seifengold (44,9 Gramm) aus der Schwarza in Thüringen aus dem 18. Jh. Sammlung des Grafen von Schwarzburg (nun in Privatsammlung).

*Fig. 6 Historical placer gold (44.9 grams) from the river Schwarza in Thuringia from the 18<sup>th</sup> century. Collection of the Count of Schwarzburg (now private collection).*



**Abb. 5** Gediegenes Berggold als Einschluss in einem Fragment einer (Gold-)Quarz-Adern. Ähnliche Gold-Quarz-Adern finden sich unter anderem in Gesteinen des Grundgebirges der paläozoischen europäischen Mittelgebirge und in den Alpen.

*Fig. 5 Native (lode-)gold as inclusion in a fragment of a (gold-)quartz-vein. Similar gold-quartz-veins can be found – amongst others – in basement rocks of the European Palaeozoic mountain ranges and in the Alps.*

Reith u. a. 2007), wobei Bischoff (1994) allerdings darauf hinweist, dass dieses Gold mengenmäßig weniger als etwa 2–3 % des ansonsten silberreicheren Goldes ausmacht, was sich mit den Beschreibungen von Falconer u. a. (2006) deckt. Zudem würde jede metallurgische Verwendung von solch zoniert aufgebauten Goldnuggets zu einer Vermischung der weit überwiegend silberreicheren Nuggets mit den sehr dünnen goldreicheren Nuggetträndern führen.

Außerdem ist zu beachten, dass diese randlichen An- und Abreicherungsprozesse von Gold und Silber vorwiegend an sehr kleinen Nuggets im Korngrößenbereich von 0,1 mm und kleiner zu beobachten sind. Diese werden beim Goldwaschen als »Goldstaub« gewonnen und anschließend zusammenschmolzen. In der Bronzezeit hat

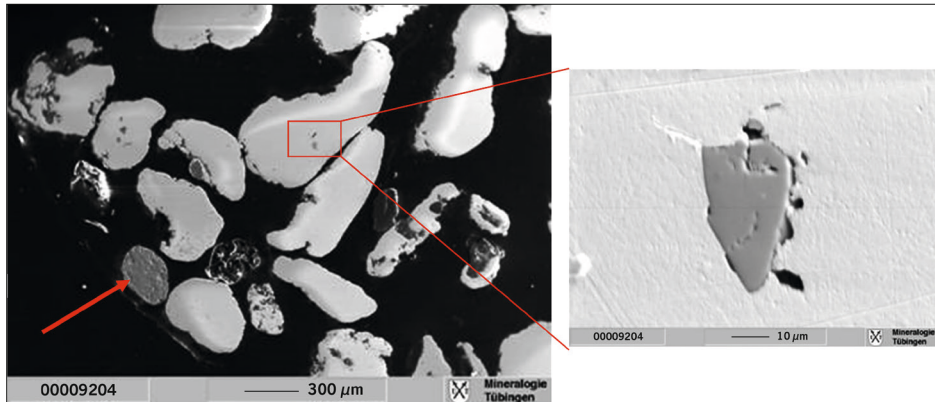


Abb. 7 Mikrosondenaufnahme von Gold- (hellgrau) und Kassiterit-Mikronuggets (mittelgrau, siehe Pfeil) einer Paläoseife aus Vestrev, Nordtschechien. Ein Goldnugget enthält einen Kassiterit-Einschluss (roter Rahmen und Detailbild).

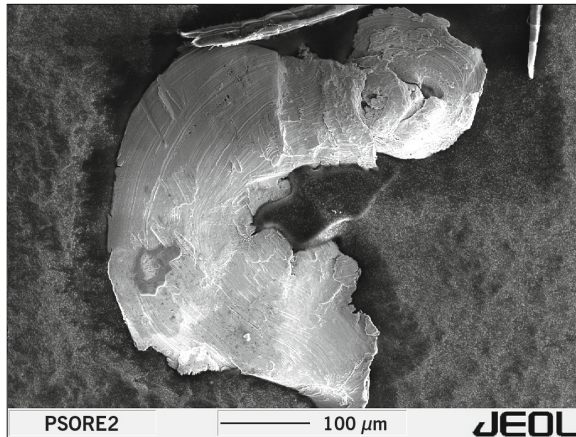
Fig. 7 Scanning electron microscope image of gold (light grey) and cassiterite micro-nuggets (mid-grey, see arrow) of a palaeoplacer from Vestrev, north Czech Republic. One gold nugget contains a cassiterite inclusion (red frame and detail image).

man das wahrscheinlich in kleinen Tiegeln und unter einer Bedeckung mit glühender Holzkohle durchgeführt, sodass man weitgehend reduzierende Bedingungen annehmen darf. Dies wird weiter unten bei der Diskussion des Spurenelementmusters in Naturgold eine Rolle spielen. Wenn es auch vereinzelt sehr reine Mikronuggets mit bis zu 99 % Gold gibt (Reith u. a. 2007), so gilt makroskopisch, dass in Primärlagerstätten der Silbergehalt zwischen 5 % und 40 % (Jones/Fleischer 1969; Boyle 1979) liegt, während alluviales Gold selten mehr als 20 % Silber enthält (Smith 1941).

Erhöhte Zinngehalte im Gold weisen hingegen zumeist auf eine Herkunft des Goldes aus distalen Seifenlagerstätten hin, bei denen Goldnuggets zusammen mit höchst verwitterungsresistentem Kassiterit als Schwermineralassoziation vorkommen. Kassiterit (auch als Zinnstein bekannt,  $\text{SnO}_2$ ) ist ein unter oxidativen Bedingungen im Flusswasser chemisch wie mechanisch äußerst widerstandsfähiges Mineral, das sich als Schwermineral in Fallsituationen beim fluviatilen Transport fängt und anreichert und dies in vielen Fällen zusammen mit Gold. Die Mineralparagenese von Gold und Kassiterit ist in Seifenvorkommen nicht unüblich, ist aber auch in selteneren Fällen aus Primärgoldvorkommen und deren proximalen Goldseifen beschrieben (Schmiderer u. a. 2007; Schmiderer 2009). So wurden Kassiterit-Gold-Paragenesen wie auch Kassiterit-Einschlüsse in Goldmikronuggets von Schmiderer (2009) aus einem Paläoseifenvorkommen in Vestrev, Nordtschechien beschrieben (Abb. 7). In einem bisher einmaligen Fall konnte sogar metallisches Zinn als eindeutig geogener Mikropartikel (Abb. 8) in der Gold-Zinn-Kupfer-Lagerstätte Pukanec, in der Südwestslowakei, identifiziert werden (Schmiderer u. a. 2007). Während metallisches Zinn bei der gemeinsamen Verhüttung von Seifengold leicht zusammen mit dem Gold in Schmelze geht und legiert, ist ein Übergang von Zinn aus dem Mineral Kassiterit schwerer möglich und erfordert Schmelzen unter sauerstoffarmen Bedingungen. Letzteres

**Abb. 8** Natürlicher gediegener Zinnpartikel aus Pukanec, Südwestslowakei. Der Zinnpartikel stammt aus der supergenen, oxidierten Zone einer Gold-(Zinn)-Ader und ist mit silber-reichem Gold und Elektrum-Partikeln vergesellschaftet. Die metallurgische Verarbeitung solcher Gold-Zinn-Erze dürfte zu einer markanten Zinn-»Kontamination« des Goldes führen.

*Fig. 8 Scanning electron microscope image of a natural native tin particle from Pukanec, south-west Slovakia. The tin particle originates from the supergene oxidised zone of a gold (tin) vein and is associated with silver-rich gold and electrum particles. The metallurgical processing of such gold-tin ores should lead to a marked tin "contamination" of the gold.*



ist allerdings bereits durch eine Bedeckung des Schmelztiegels mit glühender Holzkohle zu erreichen, was ein durchaus übliches metallurgisches Verfahren darstellt.

Somit ergaben sich sowohl geochemische Hinweise auf Gold aus einer primären oder sehr proximalen Goldquelle (hoher Silbergehalt) als auch Hinweise auf eine sekundäre Seifengoldquelle mit einer typischen Gold-Kassiterit-Paragenese. Es galt also diesen scheinbaren Widerspruch zu erklären oder eine Lagerstätte zu identifizieren, die beide Charakteristika – also einen hohen Silber- und zugleich erhöhte Zinn- und Plattingehalte – vereint.

Eine direkte Verbindung des Goldes mit einer spezifischen Lagerstätte oder auch nur Plausibilisierung nach der Entfernung zum Fundort (oder Herstellungsort) der Himmelsscheibe ist allerdings nicht möglich. Dies ergibt sich daraus, dass die schätzungsweise 50 Gramm Gold auf der Himmelsscheibe nicht nur ohne Weiteres aus lokalen und regionalen Quellen wie dem Thüringer Wald stammen könnten, sondern auch ein Bezug über weitreichende Handelsverbindungen denkbar ist. Zusätzlich ist zu bedenken, dass selbst für die Menge eines Sternes (ca. 300 mg) ca. 15 000 Mikronuggets von 0,1 mm Durchmesser gebraucht werden. Beim Zusammenschmelzen wird dadurch ein Mittelwert gebildet, der nur durch die Analyse von wenigstens 1000 Mikronuggets angenähert werden könnte. Ein direkter Vergleich von Artefaktgold mit Analysen von Mikronuggets ist daher problematisch.

### Vergleiche mit Analysen prähistorischer Goldobjekte

Die wichtigste Fragestellung ist aber dennoch die nach der Herkunft des Goldes, die auf den ersten Blick ganz einfach zu sein scheint. Im Prinzip könnte man meinen, dass die chemische Zusammensetzung des Goldes Auskunft über seine Herkunft geben könnte, weil es, ähnlich wie bei Steinmaterial, auf dem Weg von der Lagerstätte zum Fertigprodukt nicht verändert wird. Es liegt ja schon als Metall vor, welches nur mehr in die gewünschte Form gebracht werden muss.

Ähnliche Überlegungen haben möglicherweise dazu geführt, dass am Landesmuseum Württemberg in Stuttgart eine umfangreiche Analysenserie prähistorischer Goldfunde

von A. Hartmann durchgeführt wurde (Hartmann 1970; Hartmann 1982). Vorausgegangen war eine noch umfangreichere Untersuchung prähistorischer Kupferobjekte. Dabei stand man vor der Schwierigkeit, dass die technologischen Prozesse zur Gewinnung des Metalls die chemische Zusammensetzung tiefgreifend verändern und man nicht mehr so leicht das Erz mit dem Endprodukt vergleichen kann. Deshalb und wegen der begrenzten Analysenkapazität hat man nur Metallobjekte analysiert, klassifiziert, d.h. in Materialgruppen eingeteilt, und aus deren Verbreitung in Raum und Zeit Rückschlüsse auf die möglichen Herkunftsregionen gezogen. Bei Gold hätte man durchaus auch die Analyse von Naturgold einbeziehen können, was aber nicht geschah. Stattdessen wurde die gleiche Strategie wie bei Kupfer und Kupferlegierungen angewandt unter der Annahme, dass die so erzielten Materialgruppen weit weniger vom Herstellungsprozess beeinflusst wurden als bei Kupfer.

Die meisten von Hartmann analysierten ca. 4000 Objekte enthalten weniger Silber als das Gold der Hauptgruppe von Nebra. Nur eine von ihm definierte Goldsorte A<sub>3</sub> weist vergleichbare Silbergehalte auf. Sie umfasst 128 früh- und mittelbronzezeitliche Objekte aus dem mittleren Donaauraum sowie 22 Exemplare aus Norddeutschland und Dänemark. Zwei Vertreter der genannten Goldsorte sind zudem aus England bekannt (Abb. 1). Hartmann wies bereits auf deren Verbreitungsdichte in der Nähe des Siebenbürgischen Erzgebirges hin. In diesem Fall untersuchte er sogar einige Proben von Primärgold aus Brad, Kreis Hunedoara (Rumänien), und Verespatak (rumänisch: Roșia Montană), Kreis Alba (Rumänien), die tatsächlich ähnliche Silber- und variable Kupfergehalte besaßen. Da die meisten Objekte auch geringe Konzentrationen an Zinn aufwiesen, interpretierte Hartmann diese Goldsorte als Waschgold aus der näheren Umgebung der Primärlagerstätten. Das Gold der Hauptgruppe auf der Himmelscheibe entspricht diesem Gold in allen betrachteten Parametern, sodass zunächst auch eine Herkunft aus Südosteuropa als wahrscheinlich angenommen wurde. Borg (2010) zeigte aber, dass die Goldsorte A<sub>3</sub> eine Untergruppe mit deutlich geringeren Schwankungen im Kupfergehalt enthält, die nur in Norddeutschland und Dänemark auftritt (Abb. 1). Nach Frána (1997) bestehen die Goldfunde der Aunjetitzkultur in Böhmen aus zwei Goldsorten, von denen eine wohl dieser Untergruppe entspricht, wobei mit der verwendeten Methode allerdings das Zinn nicht erfasst wurde. Interessant für die folgende Diskussion sind auch zwei Funde in Südengland (der Henkel des Rillaton-Bechers und ein Zierblech aus dem Golden Barrow<sup>2</sup>), die zu dieser Untergruppe zu zählen sind (Abb. 1).

Obwohl kaum Naturgoldproben untersucht wurden, schloss Hartmann (1970; 1982) aus der geografischen Verbreitung bestimmter Goldsorten auch auf die Herkunft des Rohgoldes, wie in obigem Beispiel beschrieben. Hartmanns Schlussfolgerungen sind zwar in der Archäologie kritisiert worden, aber die Daten haben Bestand und es ist nicht zu leugnen, dass die von ihm definierten Materialgruppen trotz der geringen Zahl der analysierten Neben- und Spurenelemente (meist nur Silber, Kupfer, Zinn und Platin) nicht regellos in Raum und Zeit verteilt sind, sodass man zumindest von Werkstattkreisen und möglicherweise auch von spezifischen regionalen Naturgoldquellen sprechen kann.

---

<sup>2</sup> Rillaton bei Liskeard, Cornwall; Upton Lovell Gze, bekannt als "Golden" Barrow, in der Nähe des Flusses Wylye, Wiltshire.

## Vergleich von prähistorischen Goldobjekten mit natürlichen Vorkommen

Hartmann stand als nachweisempfindlichste Methode nur die Atomemissionsspektrometrie zur Verfügung, die Spurenelemente bis zu 0,001 % erfasst. Da Naturgold, mit Ausnahme von Silber, meist nur sehr geringe Konzentrationen von anderen Elementen aufweist, wird heute vorwiegend die Massenspektrometrie zur chemischen Analyse von Gold eingesetzt. Diese Methode hat allerdings den Nachteil, dass die Probe in Form einer Lösung zugeführt werden muss, welche nicht nur zu entnehmen, sondern auch vollständig zu verbrauchen ist. Dafür ist sie für viele Elemente deutlich nachweisempfindlicher als die Atomemissionsspektrometrie. Seit etwa 20 Jahren wird diese Methode auch mit der Probeneinführung durch Laserablation gekoppelt. Dabei wird ein Laserstrahl auf die Probenoberfläche gelenkt, wo durch die hohe Energiedichte geringe Mengen des Probenmaterials verdampfen bzw. abplatzen (ablatieren). Das so flüchtig gemachte Probenmaterial kann mit einem Gasstrom in ein Massenspektrometer gelenkt und die Elementkonzentrationen und Isotopenverhältnisse auf diese Weise gemessen werden. Das hat den Vorteil, dass nur eine sehr kleine, mit freiem Auge kaum sichtbare Beschädigung des Objektes erfolgt. Nachteilig ist, dass das Objekt ins Labor gebracht werden muss, was oft nicht möglich ist. Ein Kompromiss zwischen beiden Anforderungen ist die Entnahme einer sehr kleinen Probe von ein bis zwei Milligramm, die anschließend mit dem Laserstrahl, der auf eine kleine Fläche von typischerweise 0,05 mm Durchmesser fokussiert wird, analysiert werden kann.

Mit dieser Methode wurden im Rahmen einer Dissertation einige Tausend Goldnuggets aus verschiedenen goldreichen Regionen in Europa analysiert. Die Methode war damals noch im Aufbau begriffen; die Details der Methodik wurden erst nach Abschluss der Dissertation veröffentlicht (Schmiderer 2009; Kovacs u. a. 2009) und die Dokumentation der analysierten Stellen auf den Goldnuggets ließ zu wünschen übrig. Die Methode wurde seither verbessert und es wird ein Laser mit kürzerer Wellenlänge (Excimer Laser, 213 nm) eingesetzt (Leusch u. a. 2016). Die Analysen von Schmiderer wurden mit einem älteren Lasermodell (Nd:YAG, 213 nm) durchgeführt, das noch etwas größere und weniger gut geformte Krater auf der Probenoberfläche erzeugte. Die verwendeten Geräte und Reagenzien sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die analytische Qualität der Daten wurde von Schmiderer (2009) diskutiert. Deshalb soll hier nur erwähnt werden, dass die Quantifizierung zunächst mittels Lösungskalibration erfolgte, die später durch Kalibration mit Festkörperstandards (FAU 7, Maingold G, NA1, NA2) ersetzt wurde. Damit wurden Messpräzisionen von 5 % bis 15 % für die im Standard enthaltenen Elemente erreicht. Die Richtigkeit konnte ebenfalls überprüft werden und lag bei 10 % bis 30 % für die meisten der hier interessierenden Elemente. Nur Se, Te und Cd wiesen Abweichungen von mehr als 50 % auf.

Leider wurden die Messpunkte an den einzelnen Proben nicht dokumentiert, sodass nur aus den Einzelanalysen erkennbar war, dass gelegentlich Einschlüsse in den Naturgoldproben erfasst worden waren. Aber nach gründlicher Bearbeitung des Datensatzes aus analytischer Sicht verbleiben immerhin 1462 Analysen von Naturgold, und zwar sowohl aus primären Lagerstätten als auch von alluvialen Vorkommen, die es bisher noch nicht gegeben hat (s. Anhang). Die Nachweisgrenzen können zwischen den einzelnen Messserien leicht variieren. Deshalb sind in den Tabellen im Anhang nur konservative Abschätzungen der Nachweisgrenzen für zwei Projektphasen angegeben. In diesen Daten bestätigt sich zunächst die oben beschriebene Tendenz, dass alluviales Gold niedrigere Silberge-

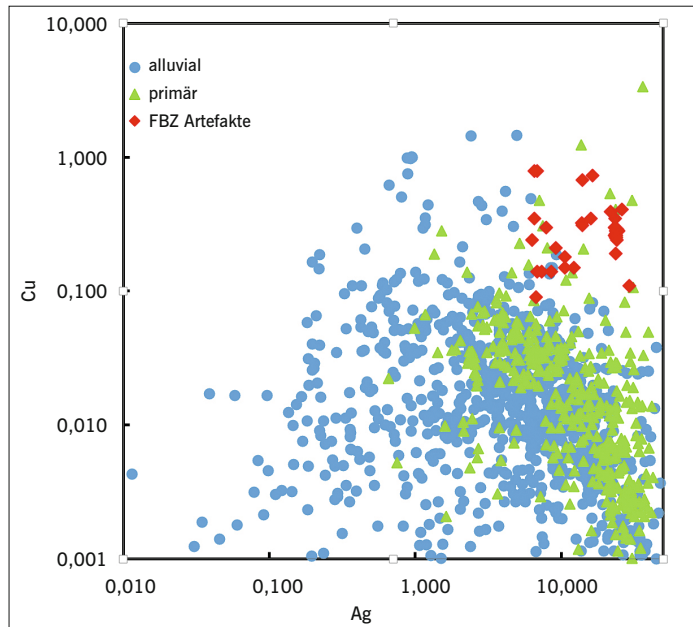


Bezeichnung	technische Beschreibung	Baujahr	Betriebsparameter
QICP-MS	Thermo Elemental X Series II Quadrupol ICP-MS mit Kollisionszelle (CCT)	2005	Argonplasma mit der Additionsmöglichkeit zweier Kollisionsgase (H <sub>2</sub> und NH <sub>4</sub> Formiergase)
Laser	New Wave 213 nm Nd:YAG mit adaptiertem Gassystem	2001; 2006 Umbau auf 213 nm	variabel, Goldablation bei f=4 Hz und P <sub>max</sub> , 1100 ml/min bei He als Ablationsgas
Nebulizer	Standard-Nebulizer Thermo	2006	0,6–0,97 bar Betriebsdruck, max. 1 l/min Durchsatz
MCN-6000	Desolvator mit adaptierter Teflonkammer	2001	T <sub>kammer</sub> =105°C ; T <sub>trockner</sub> =160°C, Sweep-Gas 3,35 l/min bei Laserbetrieb
Cetac ASX 100	Probenwechsler, über ACLScript durch ICP-Computer gesteuert	2001	automatisierte Steuerung durch ICP-Computer
Partikelfilter	Spiralfilter Eigenbau, 7 Windungen Tygon - Innendurchmesser 1,5 mm	2007	laufende Erneuerung nach 10 Stunden Ablation
Helium	Reinstgas 4.8		
Argon	Reinstgas 4.6		
Formiergas	5 % H <sub>2</sub> in He sowie 5 % NH <sub>4</sub> in He		

Tab. 1 Übersicht über die verwendeten Geräte, Verbrauchs- und Referenzmaterialien und deren Spezifikationen.

Tab. 1 Overview of the equipment, consumables, and reference materials used and their specifications.

halte aufweist als Primärgold, wenn auch mit einem erheblichen Überlappungsbereich (Abb. 9). Im selben Diagramm ist auch zu erkennen, dass die Kupfergehalte der meisten, bisher analysierten frühbronzezeitlichen Goldobjekte eine Tendenz zu höheren Kupfergehalten zeigen. Mit der Analyse von Naturgold war natürlich die Hoffnung verbunden, eine Beziehung zwischen Lagerstätte und Endprodukt herstellen zu können. Allerdings ist dafür der Silbergehalt nur wenig aussagekräftig, da die Variationen innerhalb einer Lagerstätte im Bereich von mindestens einer Größenordnung liegen, sodass ein einziges Element nicht genügend Diskriminierungspotenzial zwischen verschiedenen Lagerstätten hat. Darüber hinaus kann das weniger edle Silber beim Transport in Flüssen ausgelaugt werden, was Inhomogenitäten sowohl im Mikro- als auch im Makrobereich zur Folge hat. Bei allu-



**Abb. 9** Vergleich von Kupfer- und Silbergehalten in Naturgold und Artefaktgold. Die Messunsicherheiten sind kleiner als die Datenpunkte.

*Fig. 9* Comparison of copper and silver contents in natural gold and artefact gold. The measurement uncertainties are smaller than the data points.

vialen Gold kommt die Komplikation hinzu, dass je nach Größe des Flusses und damit des Einzugsbereichs bereits eine Mischung von mehr als einer Lagerstätte stattgefunden haben kann und somit eine genaue Identifizierung eines einzelnen Primärvorkommens unmöglich wird.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass – anders als vielfach angenommen – Gold auf dem Weg von der Lagerstätte zum Endprodukt auch chemischen Änderungen unterliegt. Je nachdem, unter welchen Bedingungen Gold geschmolzen wird, werden die unedlen Begleitelemente oxidiert und damit entfernt. Schmelzversuche mit dem Referenzmaterial NA2 haben gezeigt, dass manche Elemente unabhängig von den eingestellten Redoxbedingungen stark abgereichert werden (Se, Cd, Pb, zum Teil Te und Bi) (Abb. 10). Dagegen gehen bei reduzierenden Bedingungen nur stark flüchtige Elemente wie Se, Te und Cd weitgehend verloren. Man kann wohl von der Annahme ausgehen, dass Gold in der Regel unter Holzkohlebedeckung und damit reduzierend geschmolzen wurde, sodass das Spurenelementmuster weitgehend erhalten bleibt.

Als zusätzliche Komplikation hat sich die absichtliche oder unabsichtliche Legierung mit Kupfer herausgestellt. Naturgold hat typischerweise sehr niedrige Kupfergehalte von weniger als 0,1%. Dagegen findet man in den meisten archäologischen Goldartefakten höhere Kupfergehalte von bis zu einigen Prozent. Diese müssen nicht unbedingt als absichtliche Zugabe interpretiert werden. Es kann sich auch um Kupfererze handeln, die

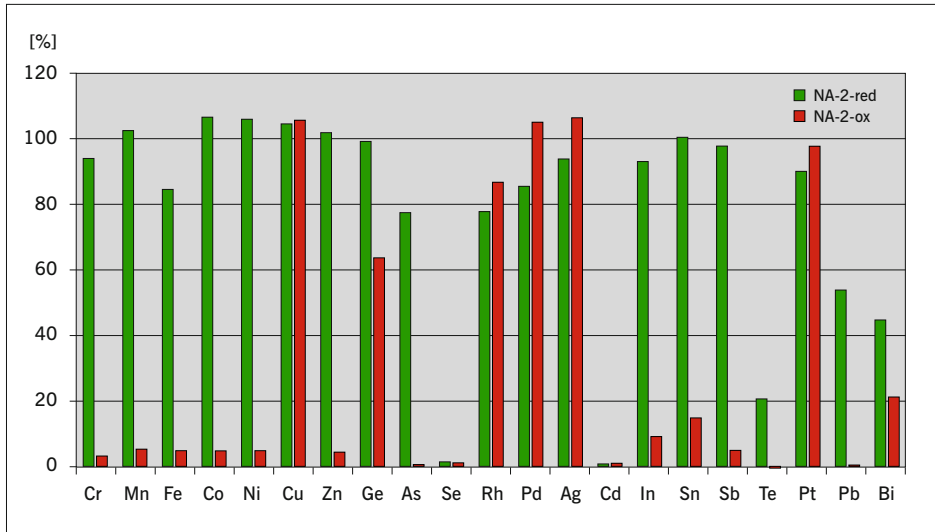


Abb. 10 Wiederfindung einiger Elemente im Standard nach Schmelzversuchen in oxidierender und reduzierender Atmosphäre.

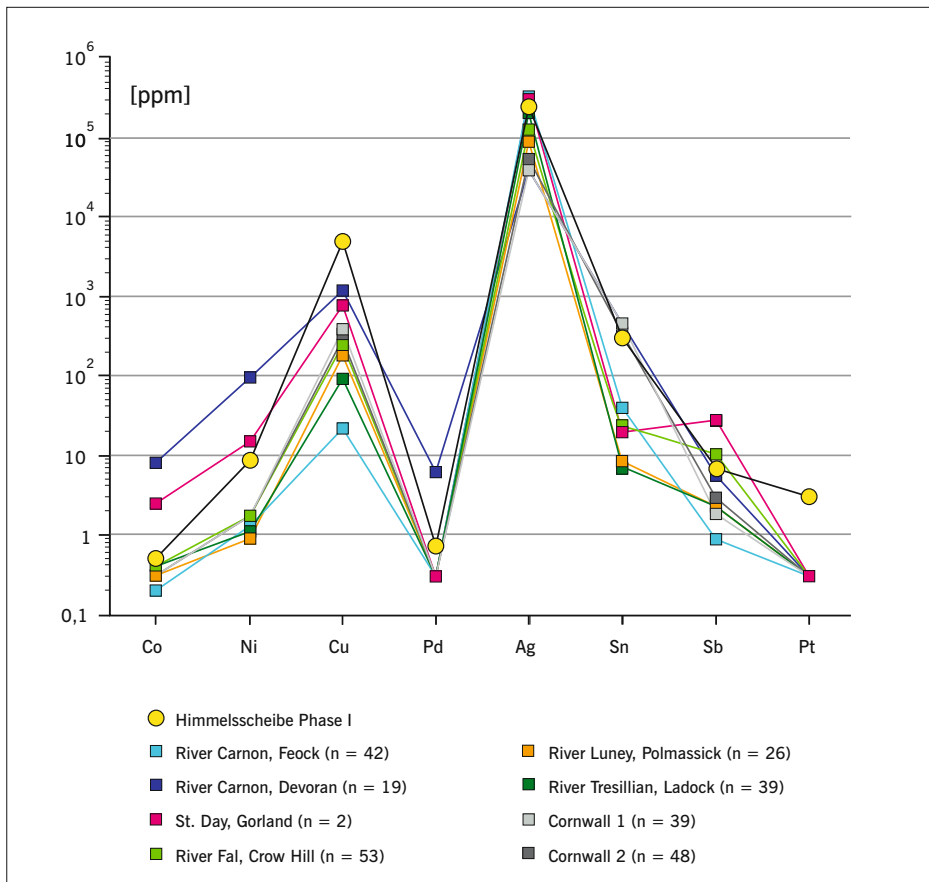
Fig. 10 Recovery of some elements in the standard after melting tests in oxidising and reducing atmosphere.

z. B. beim Waschen zusammen mit dem Gold angereichert wurden, weil auch sie ein höheres spezifisches Gewicht haben als die Silikate. Beim Schmelzen würde dann das Kupfer reduziert werden und kann so in das Gold gelangen.

Für die Herkunftsanalyse von Buntmetallen und Silber hat sich die Isotopenanalyse des Bleis seit einigen Jahrzehnten bewährt (Pernicka 2014). Wegen des generell sehr niedrigen Bleigehalts in Gold ist diese Methode allerdings nur begrenzt anwendbar. Einerseits ist nicht immer gesichert, dass das Blei von der Goldlagerstätte stammt und diese charakterisiert, denn bei niedrigen Bleigehalten ist die Kontaminationsgefahr, sei es in der Natur oder im Labor, besonders groß. Zusätzlich enthält Naturgold sehr häufig auch Quecksilber, das zu einer isobaren Überlagerung des Isotops  $^{204}\text{Pb}$  führt. Aus diesem Grund können nicht alle stabilen Bleiisotope mit der Laserablationstechnik gemessen werden und die Probe muss aufgelöst werden (Standish u. a. 2013). Das führt zu einem Probenbedarf von mindestens 20 mg (dies entspricht ca.  $1\text{ mm}^3$  Gold), der für Artefakte oft zu groß ist, sodass eine Probenahme nicht gestattet wird, selbst bei Nuggets aus mineralogischen Sammlungen. Anhand von relativ großen Restproben aus der Untersuchungsserie von Hartmann konnten Standish u. a. (2014; 2015) Bleiisotopenverhältnisse an irischen Goldartefakten bestimmen und sie mit den Bleiisotopenverhältnissen von Sulfidlagerstätten vergleichen. Als Ergebnis konnten sie Irland als Herkunftsgebiet ausschließen, weil die geologischen Verhältnisse der Insel vergleichsweise einfach sind und nur zwei begrenzte Gruppen von Bleiisotopenverhältnissen auftreten.

Insgesamt haben sich aber für den Vergleich von Naturgold und Artefaktgold einige wenige Metalle als robuste Indikatoren herausgestellt und zwar diejenigen, die bei der Schmelzverarbeitung in der Metallphase verbleiben und nicht in die Schlacke partitionie-

ren. Dies sind im Prinzip die Metalle Kobalt, Nickel, Kupfer, Palladium, Silber, Zinn, Antimon und Platin. Mit diesem Ansatz wurde für das Gold von der Himmelscheibe von Nebra (Hauptgruppe oder Phase I der Scheibe mit Sonne, Sichelmond und den meisten Sternen) die beste Entsprechung in Flussgold von Cornwall gefunden (Ehser u. a. 2011) (Abb. 11). Dies gilt auch für das Gold der Phase II (Horizontbögen und Stern Nr. 23), das aber wegen des unterschiedlichen Zinngehalts auf alle Fälle als getrennte Charge aus demselben Lagerstättendistrikt anzusehen ist, was auch die Anbringung des Horizontbogens und des Sternes Nr. 23 zu einem späteren Zeitpunkt nahelegt. Das Gold der Phase III (Barke) findet in dem relativ großen Streubereich, der von allen Naturgoldproben aus Cornwall aufgespannt wird, ebenfalls Platz (Lockhoff/Pernicka 2014).



**Abb. 11** Muster der Elementkonzentrationen der robusten Metalle im Gold der Himmelscheibe (Phase I) im Vergleich zu Naturgoldproben aus Cornwall (Farbsignaturen und Anzahl der Analysenpunkte siehe Legende). Die Messunsicherheiten sind kleiner als die Datenpunkte.

*Fig. 11* Patterns of elemental concentrations of the metals robust on melting in the gold of the Sky Disc (phase I) compared to natural gold samples from Cornwall (colour signatures and number of analysis points, see legend). The analytical uncertainties are smaller than the data points.

Hier ist zunächst bemerkenswert, dass die besonders silberreichen Nuggets geringere Konzentrationen von Spurenelementen aufweisen. Das Spurenelementmuster im Gold von der Himmelscheibe liegt bei sechs von acht Elementen im Streubereich des alluvialen Goldes aus dem Fluss Carnon. Zwei Metalle – nämlich Kupfer und Platin – weisen aber Besonderheiten auf, die den Gebrauch zur Provenienzbestimmung nur eingeschränkt erlauben. Die Konzentrationen dieser beiden Elemente sind in der Regel in Artefaktgold signifikant höher als in Naturgold (Schmiderer 2009; Pernicka 2014) (Abb. 9) und dies ist auf zumindest teilweise unterschiedliche geogene und anthropogene Gründe zurückzuführen.

Erhöhte Kupfergehalte in aus Seifengold stammendem Artefaktgold können ihre Ursache in einer Gold-Kupfer-Paragenese der primären (Gang-Lagerstätte) wie auch in seltenen Fällen in Gold-Kupfer-Paragenesen in proximalen Goldseifen haben. In der Regel oxidieren die sulfidischen Kupferminerale im supergenen Verwitterungsbereich der Lagerstätten zu Azurit und Malachit, d. h. zu relativ leicht wasserlöslichen Kupferhydrokarbonaten. Diese auch physikalisch wenig verwitterungsresistenten Minerale werden beim fluviatilen Transport bereits über sehr kurze Distanz als Roll- und Springfracht zwischen härteren Klatten mechanisch zerkleinert und zugleich chemisch gelöst. Hauptmann und Gambaschidze (2006) beschreiben proximale Goldseifenproben aus der Umgebung der goldführenden Buntmetall-Sulfidlagerstätte Bolnisi-Sakdrisi in Georgien, in der diskrete Azuritpartikel im Seifenkonzentrat vergesellschaftet mit Gold-Mikronuggets vorkommen. Derartige Paragenesen sind sicherlich gut dazu geeignet, bei der gemeinsamen Verhüttung von Gold und Azurit bzw. Malachit erhöhte Kupfergehalte im Gold zu bewirken.

Im Gegensatz zu dieser geogenen Kupferquelle im Artefaktgold ist ein plausibler aber unbeabsichtigter, anthropogener Eintrag von Kupfer im Laufe der metallurgischen Verhüttung und Verarbeitung von Vavelidis und Andreou (2008) postuliert worden. Die Autoren machen am Bruchstück eines spätbronzezeitlichen Keramiktiegels aus Nordgriechenland deutlich, dass es bei einer abwechselnden Nutzung des Gefäßes zum Schmelzen von Gold und Kupfer bzw. Bronze zu einer deutlichen Kontamination des Goldes kommen kann. Eine ca. 5 µm große Goldperle, die in einer Pore des Keramiktiegels erhalten ist, zeigt anormal erhöhte Kupfergehalte, die darauf schließen lassen, dass dieses Kupfer aus der abwechselnden Schmelzverarbeitung beider Metalle herrühren dürfte. Es scheint aber zweifelhaft zu sein, ob selbst in der Bronzezeit derart nachlässig mit den wertvollen Rohstoffen umgegangen wurde. Im Vergleich dazu sind die Kosten für die Herstellung getrennter Tiegel vernachlässigbar. Bei dem Fund könnte es sich auch um ein Gefäß handeln, in dem stark kupferhaltiges Gold geschmolzen oder aber Gold mit Kupfer legiert wurde, was mit der Beobachtung von Hartmann (1982) übereinstimmen würde, dass in der mykenischen Kultur Gold-Kupfer-Legierungen dominierten.

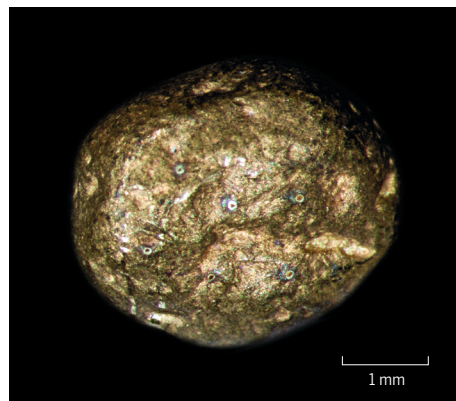
Für Platin hingegen stellt sich die Situation gänzlich anders dar, unter anderem da dieses erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzende Metall in der Antike weder bekannt war noch gewonnen oder verarbeitet worden ist. Gold und Platin kommen in Primärlagerstätten kaum gemeinsam vor, sind aber in sekundären Seifenlagerstätten durchaus oft gemeinsam zu finden. Gemeinsam in distalen Goldseifen vorkommende Gold-Platin-Paragenesen sind sowohl aus Rhein und Donau (Dill u. a. 2009) als auch aus der Saale in Thüringen und im südlichen Sachsen-Anhalt (Wolf u. a. 2010) beschrieben. Unter den Seifenmineralen der Platingruppenelemente sind hier insbesondere Platin-Eisen-Legierungen

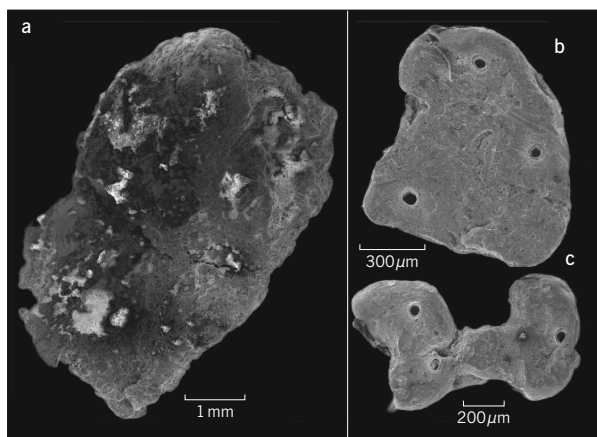


wie die Minerale der Isoferroplatin-Tetraferroplatin-Mischreihe zu nennen. Andere Platingruppenminerale wie Osmium-Iridium-Ruthenium-Minerale, die ebenfalls in Seifen deutlich angereichert vorkommen können (Cabri u. a. 1996), sind hier zu vernachlässigen, da diese Platin-Gruppen-Elemente, anders als Platin und Palladium, in Gold nicht löslich sind und lediglich als Einschlusspartikel im Natur- und Artefaktgold vorkommen können (z. B. Young 1972; Jansen u. a. 2016). Die Platingehalte in Artefaktgold sind in vielen Fällen zumindest erkennbar oder sogar deutlich erhöht (Schmiderer 2009). Einige oder sogar viele Seifengoldvorkommen können Mikronuggets von Platin und Platingruppenmineralen enthalten, aber in mikroanalytischen Untersuchungen von Naturgold findet man zumeist kein Platin, wohl aber häufig im Artefaktgold. Dies liegt darin begründet, dass in modernen Studien zumeist Methoden mit hoher lateraler Auflösung, d. h. LA-ICP-MS mit sehr stark fokussiertem Laserstrahl, zum Einsatz kommen, mit denen kleinste Bereiche von Mikronuggets analysiert werden (Abb. 12–13), wobei die Messpunkte in der Regel keinen der ohnehin sehr seltenen und sehr kleinen Platineinschlüsse treffen können. Werden bei der mikroanalytischen Untersuchung von Gold mittels LA-ICP-MS-Analyse doch Platineinschlüsse innerhalb des untersuchten Goldnuggets vom ablatierenden Laserstrahl erfasst, so wird ein solcher Messwert oft aus dem Analysenverlauf entfernt, um starke, punktuelle Verzerrungen der chemischen Analysenwerte zu verhindern. Auch dies führt zu einer systematischen analytischen Unterrepräsentanz der in Naturgold gemessenen Platingehalte. Idealerweise würde man sich wünschen, eine sehr große Anzahl von Mikronuggets von jeder Lokalität mit möglichst vielen Analysenpunkten zu erfassen und dabei zusätzlich jede Erfassung eines Platineinschlusses analytisch zu berücksichtigen. Das ist aber weder aus Kosten- und Zeitgründen möglich noch wirklich sinnvoll. Alternativ wäre es denkbar, eine erhebliche Anzahl von Mikronuggets jeder Lokalität einzuschmelzen und an dieser pyrometallurgisch homogenisierten Probe die Gehalte an Kupfer, Palladium und Platin zu bestimmen. Dies scheitert aber an der meist zu geringen Zahl von gewonnenen Mikronuggets von Naturgold oder an der berechtigten Vorgabe von Museen und Sammlungen, deren Museumsstücke möglichst nicht oder nur minimalinvasiv zu analysieren. Die Identifikation und geochemische wie auch mineralogische Analyse von Einschlüssen in Gold(mikro)nuggets ist als eigene Methode zur Charakterisierung von Naturgoldvorkommen in Irland und Schottland erfolgreich verwendet worden (Chapman u. a. 2000), erfordert

**Abb. 12** Goldnugget aus dem Fluss Carnon in Cornwall mit sichtbaren kleinen Kratern, die durch den Laserstrahl der LA-ICP-MS-Analyse entstanden sind. Es ist äußerst unwahrscheinlich, dass bei diesen punktuellen Analysen ein möglicher Platineinschluss getroffen werden kann.

*Fig. 12 Gold nugget from the Carnon river in Cornwall with visible small craters, which were generated by the laser beam of the LA-ICP-MS analysis. It is highly unlikely that such selective analyses may strike a possible platinum inclusion.*





**Abb. 13** Mikronuggets aus dem Fluss Carnon, Cornwall, die proximal zur primären Lagerstätte (a, Lokation Devoran) Einschlüsse von Quarz haben und einen geringen Rundungsgrad aufweisen. Sie sind distal (b und c, Lokation Feock) stärker gerundet und geplättet. Die Löcher stammen vom Laserstrahl der LA-ICP-MS-Analysen und es ist sehr unwahrscheinlich, dass dabei mögliche Platineinschlüsse getroffen werden können.

*Fig. 13* Micro-nuggets from the river Carnon, Cornwall, which proximal to the primary deposit (a, Devoran location) contain quartz inclusions and a low degree of roundness and are distally (b and c, Feock location) more rounded and flattened. The holes are from the laser ablation of the LA-ICP-MS analyses and it is highly unlikely that by this possible platinum inclusions can be struck.

aber eine äußerst umfangreiche und aufwendige Probenahme, die für Museums- und Sammlungsproben zumeist nicht anwendbar ist.

Beim Aufschmelzen von Seifengold, das geringe Mengen von Platin-Mikronuggets enthält, geht Platin zumindest teilweise und stark temperaturabhängig in die Schmelze und nicht in die Schlackenphase (Schmiderer 2009; Sanadze/Labartkava 1961). Im Temperaturbereich zwischen 1064°C (der Schmelztemperatur von reinem Gold) und 1200°C bilden Gold und geringe Mengen von Platin hierbei eine PtAu<sub>3</sub>-Mischphase (Sanadze/Labartkava 1961). Unter Berücksichtigung aller zuvor genannten Aspekte erhebt sich natürlich die Frage, wie »sicher« eine solche Zuordnung ist. Gibt es andere Vorkommen ähnlicher Zusammensetzung? Ist das A<sub>3</sub>-Gold von Hartmann mit dem Verbreitungsschwerpunkt in Siebenbürgen ausgeschlossen? Oder passt das Gold der Phase III (Barke) nicht auch zu den Gruppen Q<sub>1</sub>/Q<sub>2</sub> in Mitteleuropa und Q<sub>2</sub>/Q<sub>3</sub> im Donauraum (Hartmann 1970)? Dazu muss man einschränkend sagen, dass die Zuordnung nur auf der zur Verfügung stehenden Datenbasis erfolgen kann. Für den Vergleich mit den Gruppen von Hartmann stehen nur die Elemente Silber, Kupfer und Zinn zur Verfügung. Aber selbst bei mehr Elementen als Vergleichsbasis sind Überlappungen unvermeidlich. Hinzu kommt, dass es nahezu ausgeschlossen ist, sämtliche Goldvorkommen in Europa ausreichend, d. h. mit vielen Analysen, zu charakterisieren. Dennoch sind bereits im vorliegenden Datensatz einige Analysen ähn-

licher Zusammensetzung vorhanden, z. B. im Rhein, der Mur und dem kleinen Fluss Hybica in der Slowakei (Tab. 2). In dieser Situation muss man andere Argumente heranziehen, um die Plausibilität der Zuordnung zu erhöhen.

Rhein	Istein, Ortsteil von Efringen-Kirchen, Lkr. Lörrach	Deutschland	Rheingold, Nuggets bis 3 mm
Rhein	Kleinkems, Ortsteil von Efringen-Kirchen, Lkr. Lörrach	Deutschland	Rheingold
Mur	Stadl an der Mur, Bez. Murau, Steiermark	Österreich	3 km unterhalb von Stadl, nur 1 Korn!
Hybica	Hybe, Kriváň	Slowakei	Seifengold aus glazialen Sedimenten

Tab. 2 Goldproben mit ähnlichem Spurenelementmuster wie das Gold der Phase I auf der Himmelsscheibe von Nebra.

Tab. 2 Gold samples with similar trace element patterns as the gold of phase I of the Sky Disc of Nebra.

Im Fall von Cornwall ist es die immer wahrscheinlicher werdende Hypothese, dass bereits in der frühen Bronzezeit in dieser Region Zinn gewonnen wurde. Der hohe Anteil von Zinnbronzen im Metallinventar der Wessex-Kultur ist ein Indiz dafür. Zusätzlich betonen einige Autoren (Dines 1956, 275; Penhallurick 1986; Camm 1995; Penhallurick 1997) den besonderen Goldreichtum des Flusses Carnon in Cornwall, in dem Gold in bedeutenden Mengen als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Kassiterit (Zinn) aus alluvialen Flusssedimenten von prähistorischer Zeit bis in die Neuzeit anfiel und bis heute mit geringem Aufwand gefunden werden kann. Gold war ein solch übliches Nebenprodukt der Zinnengewinnung aus alluvialen Flusssedimenten (Abb. 14) durch das sog. »streaming«, dass die Arbeiter in Zinnvorkommen welche Gold führten, geringer entlohnt wurden, da sie das Gold für sich gewinnen und verkaufen konnten (Henwood 1855), was sicher auch dem damaligen, erheblich niedrigeren Goldpreis geschuldet gewesen sein dürfte. Camm (1995) listet in seiner umfassenden Gelände- und Literaturstudie zu Goldvorkommen in Cornwall allein zwischen 1752 und 1873 neun Publikationen auf, die von z. T. reichen Goldfunden in den Sedimenten des Flusses Carnon berichten. Nach Camm (1995) durchfließt der Fluss Carnon und die ihn speisenden kleineren Gewässer ein Gebiet mit mehreren Vorkommen von Primärgold. In einer vorsichtigen Vorratsberechnung hat Collins (1912) die Menge an Gold, die ursprünglich in den alluvialen (Zinn-) Vorkommen Cornwalls enthalten gewesen sein dürfte, überschlagen und schätzt diese auf ca. 1,25 Tonnen Gold bei ursprünglich vorhandenen 2,5 Millionen Tonnen alluvialen Seifen-Kassiterit.

Die deutlichste Übereinstimmung aller Naturgoldproben aus Cornwall weist das Gold des Flusses Carnon im Gebiet von Devoran, ca. 6,4 km südwestlich von Truro, auf (Abb. 14). Dieser Fluss wird im Allgemeinen als einer der zinn- und goldreichsten in Cornwall betrachtet (Collins 1912; Dines 1956; Penhallurick 1986; Camm 1995; Penhallurick 1997; Leveridge u. a. 1990). Der Fluss Carnon ist relativ kurz und entspringt in der von vielen verzerten Adern (sog. »lodes«) durchzogenen Aureole des Carn Marth Granits, einer kleine-

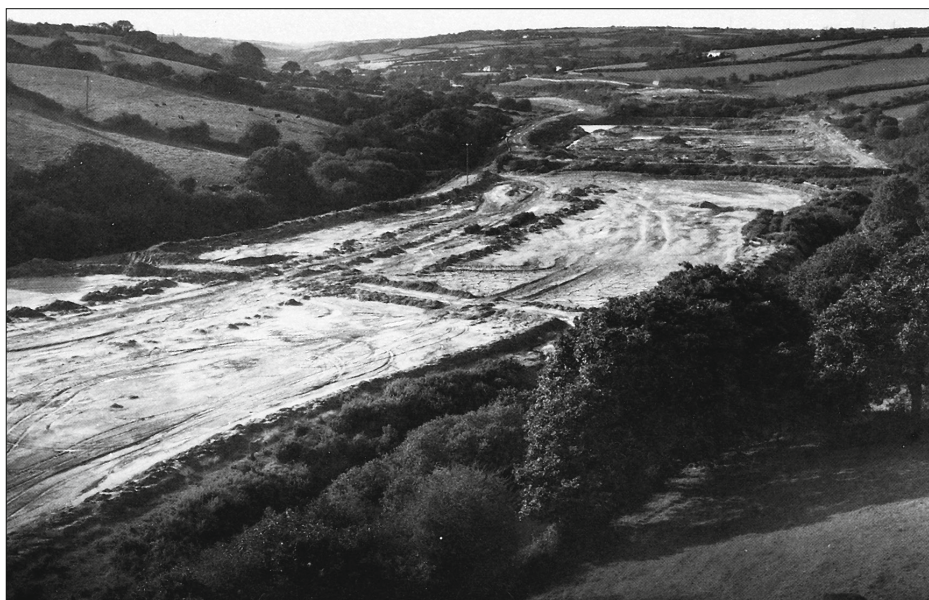


Abb. 14 Alluviale Zinngewinnung aus der Zinn-(Gold-)Seifenlagerstätte am mittleren Carnon, Fluss, Cornwall, durch den Bergbaukonzern Billiton etwa im Jahr 1980. Die bronzezeitliche Zinngewinnung – bei der Goldnuggets als Nebenprodukt angefallen sein müssen – ist durch gefundene Artefakte belegt.

*Fig. 14 Alluvial tin extraction from the tin (gold) placer deposit on the middle Carnon river, Cornwall, by the Billiton mining company about 1980. The Bronze Age tin extraction – in which gold nuggets must have accrued as a by-product – is proven by artefacts found.*

ren granitischen »Satelliten-Intrusion« des in seiner größeren Aureole ebenfalls reich vererzten Carnmenellis Granits (Abb. 15–16). Bei diesen »lodes« handelt es sich um vererzte Adern und Gänge, deren direktes Nebengestein durch hydrothermale Verdrängung zum Teil zusätzlich reich vererzt ist. Die Probenherkunft der Mikronuggets der Goldseife von Devoran liegt kurz unterhalb des Quellgebietes des Carnon Flusses. Dort liegt zugleich die Lagerstätte und inzwischen aufgelassene historische und neuzeitliche Poldice Mine (Dines 1956; Hosking 1966). Zum Lagerstätteninhalt dieses Vorkommens gehören reiche polymetallische Erze von Kupfer, Arsen, Zinn, Zink, Blei und Wolfram, wobei es interessanterweise keine besondere Erwähnung von Gold und Silber in diesen Primärerzen gibt. Betrachtet man jedoch die lagerstättenkundliche Plausibilität dieses Gebietes und seiner primären Vererzung, so fällt auf, dass hier reiche Arsenerze mit dem Sulfidmineral Arsenopyrit abgebaut wurden. Dieses Erzmineral ist der bei Weitem am besten geeignete Träger von Gold, das gut im Kristallgitter des Arsenopyrits eingebaut werden kann. Dines (1956) betont, dass Gold in praktisch sämtlichen alluvialen Zinnvorkommen enthalten ist. Zudem beschreibt er analytische Nachweise von Gold und Silber in Chalkopyrit-Pyrit-Erzen, in Antimonsulfiden und als Freigold in verschiedenen Primärlagerstätten Cornwalls (Dines 1956, 30–31). In den geochemischen Bodenkarten des British Geological Survey (2000) ist die Lokation Poldice zudem von einer sehr starken geochemischen Anomalie





**Abb. 15** Neuzeitliche Bergbaus Spuren der Poldice Mine an einem der Quellzuflüsse des Flusses Carnon, Cornwall. Primäre Erzgänge mit Kupfer-Zinn-Arsen-Zink-Blei-Wolfram-(Gold-Silber-)Paragenesen sind in der Aureole des Carn Marth Granit entstanden, verwitterten hier und haben Zinn und Gold in die Seifenlagerstätte des Flusses Carnon geliefert. Mafische magmatische Gesteinseinheiten im gleichen Gebiet sind zudem mögliche zusätzliche Lieferanten von kleinsten Platinmikronuggets in die Sedimentfracht des Flusses Carnon.

*Fig. 15* Traces of modern mining at the Poldice mine on one of the tributaries of the Carnon river, Cornwall. Primary ore veins with copper-tin-arsenic-zinc-lead-tungsten (gold-silver) parageneses have originated in the Carn Marth granite aureole, weathered here and supplied tin and gold in the placer deposits of the river Carnon. Mafic magmatic rock units in the same area are the possible additional suppliers of minute platinum micro-nuggets into the sediment load of the river Carnon.

diverser Metalle, unter anderem von Kupfer, Zinn, Arsen und auch Silber, gekennzeichnet. Auch wenn es für dieses Gebiet derzeit keine öffentlich verfügbare Karte für die Gehalte an Gold im Boden gibt, so sind die lagerstättenkundlichen Indizien, dass die Lagerstätte Poldice eine der Primärquellen des Goldes im Carnon, Fluss, sein dürfte, evident. Während Arsenopyrit der bestmögliche und Chalkopyrit ein ebenfalls sehr guter Träger von Gold in Sulfidvererzungen ist, stellt Silber ein hervorragendes sog. Pfadfinderelement für Gold dar. Zusammen mit der nachgewiesenen Goldführung der Bach- und Flusssedimente des Carnon, ergibt sich somit ein schlüssiger rohstoffgeologischer und geochemischer Zusammenhang, der unter anderem auch die erhöhten Kupfergehalte des Seifengoldes des Carnon an der Lokation Devoran erklärt.

Im Nachhinein kommt auch den beiden, bereits von Hartmann (1970; 1982) identifizierten Artefakten aus Südwestengland eine besondere Bedeutung zu (Abb. 1). Eines davon, der sog. Rillaton-Becher, wurde 1837 in Cornwall zwischen dem Bodmin Moor und Dartmoor entdeckt und wird auf ca. 1700–1500 v. Chr. datiert. Ein sehr ähnlicher Becher aus Goldblech ist der erst im Jahr 2001 gefundene Ringlemere-Becher, der bei Sandwich in Kent (Südengland) mit einem Metalldetektor entdeckt wurde und ebenfalls auf 1700 bis 1500 v. Chr. datiert wird. Bisher liegen aber keine chemischen Analysen davon vor. Beide



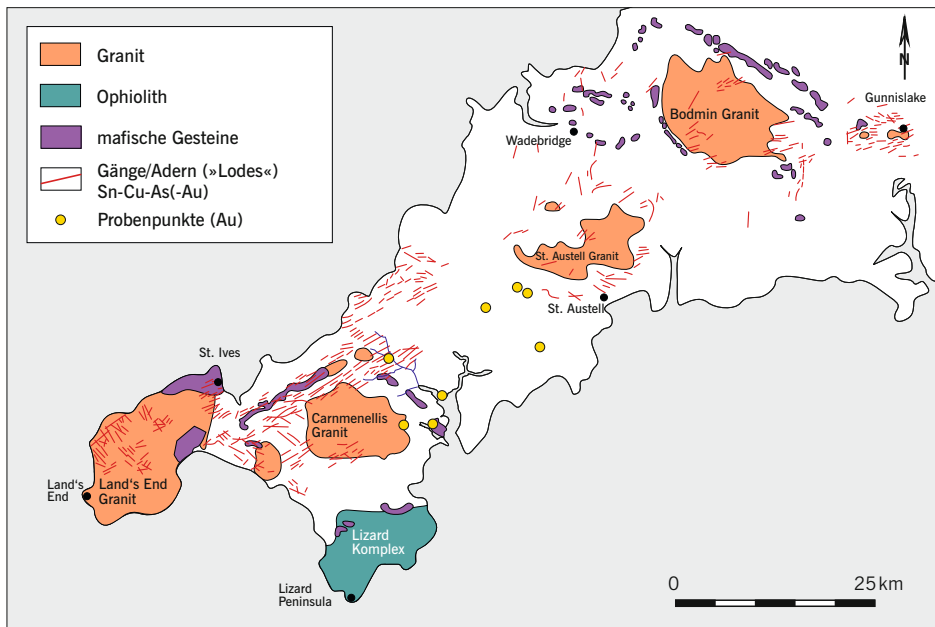


Abb. 16 Vereinfachte geologische Karte von Cornwall, die neben den Hauptgranitintrusionen eine Vielzahl von vererzten Gängen und sog. »lodes« mit Zinn-Kupfer-(Gold-)Vererzung zeigen. Die mafischen Gesteinseinheiten sind die möglichen Lieferquellen von Platin-Mikronuggets. Der goldreichste Fluss Cornwalls, der Carnon Stream, ist als einziges Fließgewässer hervorgehoben. An seinem Oberlauf befindet sich die Lagerstätte Poldice Mine.

Fig. 16 Simplified geological map of Cornwall showing a variety of mineralised veins and so-called "lodes" with tin-copper (gold) ore mineralisation in addition to the main granite intrusions. The mafic rock units are the possible sources of platinum micro-nuggets. The river of Cornwall richest in gold, the Carnon Stream, is the only watercourse emphasised here. The Poldice mine is located on its upper reaches.

Goldbecher weisen durch ihre große Ähnlichkeit mit dem Formenschatz der Aunjetitzer Kultur auf die deutlichen kulturellen Bezüge zwischen Mitteleuropa und den südlichen Britischen Inseln hin. Vor diesem Hintergrund erscheint die mögliche Handelsbeziehung zur Metallversorgung mit Gold und Zinn (Haustein u. a. 2010) aus dem Südwesten Englands nochmals plausibler. Die Bedeutung von Cornwall als Goldlieferant haben auch Standish u. a. (2014; 2015) betont, die zeigen, dass das Gold der chalkolithischen und frühbronzezeitlichen irischen Goldartefakte keineswegs aus irischen Naturgoldquellen stammt, sondern geochemisch und isotopengeochemisch mit Gold aus Cornwall übereinstimmt. Diverse Autoren betonen, dass bronzezeitliche Gesellschaften Metalle – wie z. B. Gold – offenbar ganz bewusst aus spezifischen und oft fernen Quellen bezogen und dieser »internationalen« Herkunft offenbar eine besondere Bedeutung und daher Wertschätzung beigemessen haben (Standish u. a. 2015; Bertemes 2016).

Im Allgemeinen wird eine mangelnde Übereinstimmung der Signaturen von Artefakten und natürlichen Erzvorkommen als Beleg gewertet, dass solche natürlichen Erzvorkommen als Lieferquelle ausscheiden. Diese fehlende geochemische Übereinstimmung

mit dem Gold der Himmelscheibe von Nebra ist für eine sehr große Anzahl von beprobten und analysierten primären wie auch sekundären Naturgoldvorkommen gegeben (Schmider 2009; Ehser u. a. 2011; Ehser u. a. 2011a). Erst diese umfangreichen Ausschlusskriterien der allermeisten Naturgoldvorkommen validieren und plausibilisieren die nun vorgefundenen Übereinstimmungen des Nebragoldes der Phase I mit dem Gold des Carnon Flusses in Cornwall. Allerdings muss auch hier einschränkend bemerkt werden, dass die meisten untersuchten Goldproben aus Rumänien von Primärgoldvorkommen oder von großen alluvialen Nuggets stammen, die naturgemäß höchstens sehr kleine Einschlüsse von Kassiterit oder Platinmetallen enthalten und nicht unbedingt bei der Analyse erfasst werden. Das A<sub>3</sub>-Gold enthält aber auch Zinn und wird deshalb bereits von Hartmann (1982) als alluviales Gold angesprochen. Es wäre deshalb notwendig, auch feinkörniges Flussgold aus dem sog. »Goldenen Viereck« in Siebenbürgen zu untersuchen, um eine Herkunft aus dieser Region wirklich ausschließen zu können oder als alternative Quelle zu identifizieren. Das Gold der Barke auf der Himmelscheibe hat eine deutlich andere Zusammensetzung mit nur 16 % Silber, 0,35 % Kupfer und 0,03 % Zinn. Mit 5,3 mg/kg Platin unterscheidet es sich zusätzlich von den anderen Goldobjekten auf der Himmelscheibe. Eine Suche nach dem Spurenelementmuster in den in Anhang I enthaltenen Analysen führte allerdings zu keinem Ergebnis, selbst wenn man Kupfer und Platin aus den oben genannten Gründen von der Betrachtung ausschließt. Erst wenn man Palladium und Antimon ebenfalls vom Filter entfernt, gibt es drei übereinstimmende Muster: zwei in Seifengold vom Rhein und eines von der Mur. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass es zwar keine Übereinstimmung mit einem einzelnen der analysierten Goldnuggets von Cornwall gibt, dass aber die Summe der Nuggets von Feock durchaus zu einer dem Gold der Barke ähnlichen Zusammensetzung führen kann, wie auch von Lockhoff und Pernicka (2014) dargestellt wurde. Hier zeigt sich die Beschränkung der Datentabelle in Anhang I und II. Ein Vergleich von Artefakten mit Einzelanalysen von Naturgold ist nicht zielführend.

## Resümee und Ausblick

Mehr als 30 bzw. 40 Jahre nachdem Hartmann 1970 und 1982 eine sehr große Anzahl von Analysen bronzezeitlicher Goldartefakte vorlegen konnte, präsentieren Verfasser erstmals Daten und Auswertungen einer umfangreichen Beprobung und geochemischen sowie lagerstättenkundlichen Untersuchung europäischer Naturgoldproben. Beim Abgleich der Analysen des Goldes der Himmelscheibe mit den Naturgoldproben wurden die meisten Naturgoldvorkommen aufgrund von signifikanten geochemischen Unterschieden als mögliche Liefergebiete ausgeschlossen. Cornwall konnte als wahrscheinlichste Quelle des Goldes der Applikationen der Phasen I und II identifiziert werden, was sowohl durch geochemische Ähnlichkeit als auch durch lagerstättenkundliche und montanarchäologische Plausibilität sowie stilistisch-archäologische Ähnlichkeiten zwischen Südengland und der Aunjetitzer Kultur Mitteleuropas untermauert wird. Die chalkolithische und bronzezeitliche Verwendung von Gold aus Cornwall für die irischen Goldartefakte unterstreicht dabei zusätzlich die überregionale Bedeutung Cornwalls als bedeutender Goldlieferant mit weitreichenden und langfristig stabilen Fernhandelsverbindungen sowohl nach Irland wie auch nach Zentraleuropa (Standish u. a. 2014; Standish u. a. 2015; Bertemes 2016). Die geringen Ähnlichkeiten des Himmelscheibengoldes

der Phase III, der Sonnenbarke, mit einzelnen Goldproben aus dem Rhein und der Mur sind bisher wenig signifikant und bedürfen noch weiterführender geochemischer und lagerstättenkundlicher Untersuchungen. Eine Herkunft dieses Goldes der Phase III aus Cornwall ist allerdings ebenfalls möglich. Zukünftige Untersuchungen an Naturgold sollten zudem versuchen, die Datenlage insbesondere im Bereich rumänischer Goldseifen sowie für die Goldvorkommen der französischen Bretagne und des Massiv Central zu verbessern.

*»In Bergesadern, Mauersgründen  
ist Gold gemünzt und ungemünzt zu finden.  
Und fragt Ihr mich wer es zu Tage schafft,  
begabten Manns Natur- und Geisteskraft.«*

*Goethe 1832*

### **Danksagung**

Die hier vorgelegten Ergebnisse wurden im Rahmen der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Forschergruppe 550 erarbeitet. Paras Bhalla, Anja Ehser, Manuela Frotzscher, Alexander Schmiderer und Christian Schmidtchen danken wir für ihre Mitarbeit bei der Beprobung im In- und Ausland. Für die sorgfältige Qualitätskontrolle der geochemischen Daten und der Neuformatierung der analytischen Tabellen möchten wir Frau Antje Migalk unseren Dank aussprechen. Zahllosen privaten Sammlern sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von Museen danken wir für den Zugang zu Sammlungen und Goldproben. Dank gebührt ebenso Frau Nicole Lockhoff für die kritische und konstruktive Durchsicht einer frühen Version des Manuskripts. Allen Mitwirkenden der DFG-Forschergruppe 550 danken wir für die vielen konstruktiven Diskussionen, Anregungen und Beiträge anlässlich der Projekttreffen und -konferenzen.

### **Zusammenfassung**

Der Fund der bronzezeitlichen Himmelscheibe von Nebra im Jahr 1990 und das nachfolgende, durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanzierte interdisziplinäre Forschergruppenprojekt 550 warfen unter anderem die Frage nach der Herkunft der auf der Himmelscheibe applizierten Goldobjekte auf. Obwohl es bereits durch die Untersuchungen von Hartmann (1970 und 1982) eine gute Datengrundlage der chemischen Zusammensetzungen bronzezeitlicher europäischer Artefakte gab, fehlte bisher ein damit vergleichbarer analytischer Datensatz für europäische Naturgoldvorkommen. Im Rahmen von geoarchäologischen Beprobungen primärer Ganglagerstätten wie auch sekundärer Seifenlagerstätten von Gold im Gelände und in Museen und der nachfolgenden geochemischen Untersuchung mittels LA-ICP-MS-Analytik, konnte erstmals ein umfassender Datensatz von Naturgoldanalysen zur Verfügung gestellt werden.

Das Gold der Himmelscheibe der Phasen I und II zeichnet sich durch relativ hohe Silber- und signifikante Zinngehalte aus. Damit gab es anfänglich sowohl lagerstättenkundliche Hinweise auf eine Herkunft aus primären Adern und Ganglagerstätten oder sehr proximalen Goldseifen durch die hohen Silbergehalte als auch Hinweise auf (distale) Seifen mit Kassiterit als unbeabsichtigter Zinnquelle im Gold. Eine Auswahl robuster Elemente eignet sich zum Vergleich der Goldsorten, wobei allerdings die Konzentrationen von Kupfer

und Platin in Artefaktgold systematisch deutlich höher sind als im Naturgold, wofür es mögliche lagerstättenkundlich-mineralogische wie auch metallurgische Interpretationsmöglichkeiten gibt.

Die Vergleiche des Goldes der Himmelscheibe mit den Naturgoldanalysen führte zum eindeutigen Ausschluss der meisten untersuchten Goldvorkommen mangels geochemischer Übereinstimmung, insbesondere auch der geografisch dem Fundort der Himmelscheibe relativ nahe gelegenen Vorkommen in Thüringen, den Tauern und dem Vogtland. Die größtmögliche geochemische Übereinstimmung in Bezug auf die Zusammensetzung des Himmelscheibengoldes der Phasen I und II besteht mit Naturgold aus Cornwall in Südwestengland und hier ganz besonders mit dem Seifengold des Flusses Carnon bei Devoran. Lagerstättenkundlich ist dies plausibel, da das Quellgebiet des Flusses Carnon im Bereich der neuzeitlichen Poldice Mine liegt, in der Gänge einer reichen polymetallischen Kupfer-Arsen-Zinn-Zink-Blei-Wolfram-(Silber-Gold-)Vererzung abgebaut wurden. Zudem war und ist der Fluss Carnon für die erhebliche Goldführung seiner alluvialen Zinnseifen bekannt, die bereits in der Bronzezeit abgebaut wurden. Montanarchäologisch und archäologisch sind zudem die bronzezeitlichen kulturellen Beziehungen zwischen Südengland und der Aunjetitzer Kultur Mitteleuropas durch wahrscheinliche Zinnimporte sowie stilistische Ähnlichkeiten von südenenglischen Goldbechern mit solchen der Aunjetitzer Keramik Mitteleuropas belegt. Das Gold der Sonnenbarke (Phase III) schließlich weist geochemische Ähnlichkeiten zu einzelnen Naturgoldproben aus dem Rhein und der Mur auf, aber auch mit dem Vorkommen von Feock in Cornwall.

## Summary

### *Golden Days? European gold deposits and their relation to the Nebra Sky Disc*

The discovery of the Bronze Age Nebra Sky Disc in 1999 and the subsequent interdisciplinary research group project 550, financed by the German Research Foundation, raised among other things the question of the origin of the gold objects applied to the Sky Disc. Although Hartmann's investigations (1970 and 1982) provided a good data basis for the chemical compositions of Bronze Age European artefacts, a comparable analytical data set for European natural gold deposits has hitherto been missing. Within the framework of geoarchaeological sampling of primary lode deposits, as well as secondary placer deposits of gold in the field and in museums and the subsequent geochemical investigation by means of inductively coupled plasma mass spectrometry combined with laser ablation (LA-ICP-MS) analysis, a comprehensive data set of natural gold analyses is thus available for the first time.

The gold of the Sky Disc's phases I and II is characterised by relatively high silver and significant tin contents. Thus, there was initial evidence for an origin from primary veins and lode deposits, or very proximal gold placers, due to the high silver contents, as well as indications of (distal) placers with cassiterite as an unintentional source of tin in the gold. A selection of robust elements is suitable for the comparison of the varieties of gold, although the concentrations of copper and platinum in artefact gold are systematically higher than in natural gold, with possible deposit-mineralogical and metallurgical interpretations.

The comparisons of the Sky Disc gold with the natural gold analyses led to the clear exclusion of most of the gold deposits, which had been investigated for want of a geochemi-

cal correspondence, in particular also the geographically relatively close deposits in Thuringia, the Tauern, and the Vogtland. The closest possible geochemical match of the composition of the Sky Disc's gold of phases I and II is with natural gold from Cornwall in south-west England, and here especially the placer gold from the river Carnon near Devoran. This is plausible from an ore deposit geology perspective, since the source of the river Carnon is located in the area of the modern Poldice mine, with lodes of a rich polymetallic copper-arsenic-tin-zinc-lead-tungsten (silver-gold) ore mineralisation. In addition, the river Carnon was and still is known for the considerable gold content of its alluvial tin placers, which were already mined in the Bronze Age. Furthermore, both mining archaeologically and archaeologically Bronze Age cultural relations between the South of England and the Únětice Culture of Central Europe are attested by probable tin imports as well as stylistic similarities of gold cups from southern England with the Únětice pottery of Central Europe. The gold of the solar barge (phase III) finally shows geochemical similarities to individual natural gold samples from the rivers Rhine and Mur but also to the site of Feock in Cornwall.

## **Anhang I und II (siehe Beilage/CD)**

### *Anhang I*

Zusammenstellung von Herkunft, Typ und chemischer Zusammensetzung der untersuchten Naturgoldproben aus der ersten Projektphase (modifiziert nach Migalk, unpubl.). »d. l.« bedeutet »detection limit«, d. h. Nachweisgrenze. Werte mit »<« vorangestellt liegen unterhalb der für jedes Element angegebenen Nachweisgrenze. Diese Proben sind weniger gut dokumentiert als solche aus der zweiten Projektphase (s. Anhang II).

### *Annex I*

Compilation of the origin, type, and chemical composition of the natural gold samples from the first phase of the project (modified after Migalk, unpubl.). "d. l." means "detection limit". Values preceded by "<" are below the detection limit specified for each element. Only general detection limits for the entire first phase of the project are given. These samples are less well documented than those from the second project phase (see Annex II).

### *Anhang II*

Zusammenstellung von Herkunft, Typ und chemischer Zusammensetzung der untersuchten Naturgoldproben (modifiziert nach Migalk, unpubl.). »d. l.« bedeutet »detection limit«, d. h. Nachweisgrenze. Werte mit »<« vorangestellt liegen unterhalb der für jedes Element angegebenen Nachweisgrenze.

### *Annex II*

Compilation of the origin, type, and chemical composition of the natural gold samples analysed (modified after Migalk, unpubl.). "d. l." means "detection limit". Values preceded by "<" are below the detection limit specified for each element. Only general detection limits for the entire second phase of the project are given. Due to improvement of the analytical method they are generally lower than in the first phase of the project.



## Literaturverzeichnis

### Bertemes 2016

F. Bertemes, Thinking globally about early metal-lurgy – Resources, knowledge and the acceleration of inequality. In: H. Meller/H. P. Hahn/R. Jung/R. Risch (Hrsg.), *Arm und Reich – Zur Ressourcenverteilung in prähistorischen Gesellschaften. Rich and Poor – Competing for resources in prehistoric societies*. 8. Mitteldt. Archäologentag vom 22. bis 24. Oktober 2015 in Halle (Saale). 8<sup>th</sup> Archaeological Conference of Central Germany October 22–24, 2015 in Halle (Saale). Tagungen Landesmus. Vorgesch. Halle 14/I (Halle [Saale] 2016) 181–196.

### Bischoff 1994

G. C. O. Bischoff, Goldadsorbing bacteria as colonisers on alluvial placer gold. *Neues Jahrb. Geologie u. Paläontologie, Abhandlungen* 194, 1994, 187–209.

### Bischoff 1997

G. C. O. Bischoff, The biological origin of bacterioform gold from Australia. *Neues Jahrb. Geologie u. Paläontologie, Abhandlungen*, 1997/6, 329–338.

### Borg 2010

G. Borg, Warum in die Ferne schweifen? Geochemische Fakten und geologische Forschungsansätze zu Europas Goldvorkommen und zur Herkunft des Nebra-Goldes. In: H. Meller/F. Bertemes (Hrsg.), *Der Griff nach den Sternen. Wie Europas Eliten zu Macht und Reichtum kamen*. Internat. Symposium Halle (Saale) 16.–21. Februar 2005. Tagungen Landesmus. Vorgesch. Halle 5 (Halle [Saale] 2010) 735–750.

### Borg 2014

G. Borg, Gold is where you find it – Zeitenössischer artisanaler Goldbergbau in Afrika als Analogie (prä-)historischer Goldgewinnung. In: H. Meller/R. Risch/E. Pernicka (Hrsg.), *Metalle der Macht – Frühes Gold und Silber. Metals of power – Early gold and silver*. 6. Mitteldt. Archäologentag vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saale). 6<sup>th</sup> Archaeological Conference of Central Germany October 17–19, 2013 in Halle (Saale). Tagungen Landesmus. Vorgesch. Halle 11/I (Halle [Saale] 2014) 53–70.

### Borg u. a. in Vorb.

G. Borg/E. Pernicka/A. Ehser/N. Lockhoff/A. Schmiuderer, *Herkunftsuntersuchungen zum Gold der Himmelsscheibe – Geochemische und lagerstättenkundliche Charakterisierung west- und südosteuropäischer Goldvorkommen*. In: F. Bertemes (Hrsg.), *Tagungen Landesmus. Vorgesch. Halle. Abschlusspublikation DFG-FOR 550 (in Vorb.)*.

### Boyle 1979

R. W. Boyle, The geochemistry of gold and its deposits. *Geological Survey of Canada, Bulletin* 280, 1979.

### British Geological Survey (BGS) 2000

British Geological Survey (BGS), Regional

geochemistry of Wales and west-central England: stream sediment and soil (Keyworth, Nottingham 2000).

### Cabri u. a. 1996

L. J. Cabri/D. C. Harris/T. W. Weiser, Mineralogy and distribution of platinum-group mineral (PGM) placer deposits of the world. *Journal of Exploration and Mining Geology* 5, 1996, 73–167.

### Camm 1995

G. S. Camm, *Gold in the counties of Cornwall and Devon*. Cornish Hillside Publications (St. Austell 1995).

### Chapman u. a. 2000

R. J. Chapman/R. C. Leake/N. R. Moles/G. Earls/C. Cooper/K. Harrington/R. Berzins, The application of microchemical analysis of gold grains to the understanding of complex local and regional gold mineralization: a case study in Ireland and Scotland. *Economic Geology* 95, 2000, 1753–1773.

### Clough/Craw 1989

D. M. Clough/D. Craw, Authigenic gold-marcasite association – evidence for nugget growth by chemical accretion in fluvial gravels, Southland, New Zealand. *Economic Geology* 84, 1989, 953–958.

### Collins 1912

J. H. Collins, Observations on the west of England mining region, being an account of the mineral deposits and economic geology of the region. *Transactions of the Royal geological society of Cornwall* 14 (Plymouth 1912).

### Dill u. a. 2009

G. H. Dill/D. Klosa/G. Steyer, The »Donauplatin«: source rock analysis and origin of a distal fluvial Au-PGE placer in Central Europe. *Mineralogy and Petrology* 96, 2009, 141–161.

### Dines 1956

H. G. Dines, The metalliferous mining region of the south-west England. *Economic Memoir of the Geological Survey of Great Britain* 1 (London 1956).

### Ehser u. a. 2011

A. Ehser/G. Borg/E. Pernicka, Provenance of the gold of the Early Bronze Age Nebra Sky Disk, central Germany: geochemical characterization of natural gold from Cornwall. *European Journal of Mineralogy* 23/6, 2011, 895–910.

### Ehser u. a. 2011a

A. Ehser/G. Borg/D. P. S. de Oliveira Rosa/R. Salgueiro, Characterization of placer gold deposits from central Portugal: preliminary results. In: F. Barra/M. Reich/E. Campos/F. Tornos u. a. (Hrsg.), *Let's talk ore deposits. Proceedings of the 11<sup>th</sup> biennial SGA meeting of the society for geology applied to mineral deposits, Antofagasta, Chile, 26–29<sup>th</sup> September 2011. Proceedings Volume (2011)* 814–816.

### Ehser (ungedr. Bericht) 2011b

A. Ehser, *Geochemische und lagerstättenkundliche Charakterisierung West- und Südost-Europäi-*

- scher Goldvorkommen. DFG-Abschlussbericht, DFG-FOR 550, Modul NW 4 (ungedr. Bericht 2011).
- Falconer u. a. 2006**  
D. M. Falconer/D. Crow/J. H. Youngson/K. Faure, Gold and sulphide minerals in Tertiary quartz pebble conglomerate gold placers, Southland, New Zealand. *Ore Geology Reviews*. Special publication on placer deposits 28, 2006, 525–545.
- Frána 1997**  
J. Frána, Materialzusammensetzung. In: G. Leiberger/J. Friedrich/R. Gebhard/J. Hrala (Hrsg.), *Das archäologische Gold in Bayern, Böhmen und Mähren*. Pam. Arch., Suppl. 7 (Prag 1997) 189–190.
- Hartmann 1970**  
A. Hartmann, Prähistorische Goldfunde aus Europa. *Studien zu den Anfängen der Metallurgie* 3 (Berlin 1970).
- Hartmann 1982**  
A. Hartmann, Prähistorische Goldfunde aus Europa II. *Studien zu den Anfängen der Metallurgie* 5 (Berlin 1982).
- Hauptmann/Gambaschidze 2006**  
A. Hauptmann/I. Gambaschidze, Vom Kupfer zum Gold – Das Deutsche Bergbau-Museum in Georgien. In: S. Brügerhoff/M. Farrenkopf/W. Geerlings (Hrsg.), *Montan- und Industriegeschichte. Festschr. R. Slotta zum 60. Geburtstag* (Paderborn 2006) 129–142.
- Haustein u. a. 2010**  
M. Haustein/C. Gillis/E. Pernicka, Tin isotopy – a new method for solving old questions. *Archaeometry* 52,5, 2010, 816–832.
- Henwood 1855**  
G. Henwood, *Four Lectures on Geology and Mining*. Published at the offices of the Mining Journal (London 1855).
- Hosking 1966**  
K. F. G. Hosking, Permo-Carboniferous and later mineralisation of Cornwall and south-west Devon. In: K. G. F. Hosking/G. H. Shrimpton (Hrsg.), *Present views of some aspects of the geology of Cornwall and Devon. 150<sup>th</sup> Anniversary Volume (for 1964)*. Royal Geological Society of Cornwall (Penzance 1966) 201–245.
- Jansen u. a. 2016**  
M. Jansen/S. Aulbach/A. Hauptmann/H. E. Höfer/S. Klein/M. Krüger/R. L. Zettler, Platinum group placer minerals in ancient gold artifacts – Geochemistry and osmium isotopes of inclusions in Early Bronze Age gold from Ur/Mesopotamia. *Journal Arch. Scien.* 68, 2016, 12–23.
- Jones/Fleischer 1969**  
R. Jones/M. Fleischer, Gold in minerals and the composition of Native Gold. U. S. Geological Survey Circular 612 (Washington DC 1969).
- Keeling 1993**  
J. L. Keeling, Microbial influence in the growth of alluvial gold from Watts Gully, South Australia. *Quarterly Geological Notes. The Geological Survey of South Australia* 126, 1993, 12–19.
- Kovacs u. a. 2009**  
R. Kovacs/S. Schlosser/S. P. Staub/A. Schmiderer/E. Pernicka/D. Günther, Characterization of calibration materials for trace element analysis and fingerprint studies of gold using LA-ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 24, 2009, 476–483.
- Leveridge u. a. 1990**  
B. E. Leveridge/M. T. Holder/A. J. J. Goode, Geology of the country around Falmouth. Memoir for 1:50.000 geological sheet 352 (England and Wales). British Geological Survey (London 1990).
- Leusch u. a. 2016**  
V. Leusch/M. Brauns/E. Pernicka, Precise and accurate analysis of gold alloys: Varna, the earliest gold of mankind – A case study. In: L. Dussubieux/M. Golutko/B. Gratuze (Hrsg.), *Recent Advances in Laser Ablation ICP-MS for Archaeology, Natural Science in Archaeology* (Berlin, Heidelberg 2016).
- Lockhoff/Pernicka 2014**  
N. Lockhoff/E. Pernicka, Archaeometallurgical investigations of Early Bronze Age gold artefacts from central Germany including gold from the Nebra Hoard. In: H. Meller/R. Risch/E. Pernicka (Hrsg.), *Metalle der Macht – Frühes Gold und Silber. Metals of power – Early gold and silver. 6. Mitteldt. Archäologentag vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saale). 6<sup>th</sup> Archaeological Conference of Central Germany October 17–19, 2013 in Halle (Saale). Tagungen Landesmus. Vorgesch. Halle 11/I (Halle [Saale] 2014) 223–235.*
- Penhallurick 1986**  
R. D. Penhallurick, *Tin in Antiquity: Its mining and trade throughout the ancient world with particular reference to Cornwall* (London 1986).
- Penhallurick 1997**  
R. D. Penhallurick, The evidence for prehistoric mining in Cornwall. In: P. Budd/D. Gale (Hrsg.), *Prehistoric extractive metallurgy in Cornwall. Proceedings of a One Day Conference, 11<sup>th</sup> July 1992 (Truro 1997) 23–33.*
- Pernicka 2014**  
E. Pernicka, Possibilities and limitations of provenance studies of ancient silver and gold. In: H. Meller/R. Risch/E. Pernicka (Hrsg.), *Metalle der Macht – Frühes Gold und Silber. Metals of power – Early gold and silver. 6. Mitteldt. Archäologentag vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saale). 6<sup>th</sup> Archaeological Conference of Central Germany October 17–19, 2013 in Halle (Saale). Tagungen Landesmus. Vorgesch. Halle 11/I (Halle [Saale] 2014) 153–164.*
- Pernicka u. a. 2003**  
E. Pernicka/M. Radtke/H. Riesemeier/C.-H. Wunderlich, European Network of Competence at 1600 BC. *BESSY Highlights* 2003, 8–9.
- Reith u. a. 2007**  
F. Reith/M. F. Lengke/D. M. Falconer/D. Crow/G. Southam, The geomicrobiology of gold. *The ISME Journal* 1, 2007, 567–584.

**Sanadze/Labartkava 1961**

V. V. Sanadze /N. I. Labartkava, Phase transitions in the gold – platinum system. *Journal of Structural Chemistry* 2,6, 1961, 647–654.

**Schmiderer 2009**

A. Schmiderer, Geochemische Charakterisierung von Goldvorkommen in Europa. Promotionschrift, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Halle (Saale). Online-Publikation: <<http://digital.bibliothek.uni-halle.de/urn:nbn:de:gbv:3:4-18>> (15.12.2016).

**Schmiderer u. a. 2007**

A. Schmiderer/S. Stelter/S. Klatt/G. Borg/E. Pernicka, Native tin in supergene Au-Ag ores from Pukanec, Central Slovakia – a source of inherited Sn in gold artefacts? In: C. J. Andrew u. a. (Hrsg.): *Digging Deeper – Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting, Dublin 2007 (Dublin 2007)* 629–632.

**Smith 1941**

P. S. Smith, Fineness of gold from Alaska placers. In: P. S. Smith/J. B. Mertie jr. (Hrsg.), *Mineral resources of Alaska. Report on progress of investigations in 1937*. U. S. Geological Survey Bull. 910-C (Washington DC 1941) 147–272.

**Standish u. a. 2013**

C. Standish/B. Dhuime/R. Chapman/C. Coath/C. Hawkesworth/A. Pike, Solution and laser ablation MC-ICP-MS lead isotope analysis of gold. *Journal Analytical Atomic Spectrometry* 28, 2013, 217–225.

**Standish u. a. 2014**

C. D. Standish/B. Dhuime/C. J. Hawkesworth/

A. W. G. Pike, New insights into the source of Irish Chalcolithic and Early Bronze Age gold through lead isotope analysis. In: H. Meller/R. Risch/E. Pernicka (Hrsg.), *Metalle der Macht – Frühes Gold und Silber. Metals of power – Early gold and silver*. 6. Mitteldt. Archäologentag vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saale). 6<sup>th</sup> Archaeological Conference of Central Germany October 17–19, 2013 in Halle (Saale). Tagungen Landesmus. Vorgesch. Halle 11/1 (Halle [Saale] 2014) 209–222.

**Standish u. a. 2015**

C. D. Standish/B. Dhuime/C. J. Hawkesworth/A. W. G. Pike, A non-local source of Irish Chalcolithic and Early Bronze Age Gold. *Proc. Prehist. Soc.* 81, 2015, 149–177.

**Vavelidis/Andreou 2008**

M. Vavelidis/S. Andreou, Gold and gold working in Late Bronze Age Northern Greece. *Naturwissenschaften* 95, 2008, 361–366.

**Wolf u. a. 2010**

D. Wolf/G. Borg/G. Rollinson/N. Schuster/K. Stedingk, Gold und Platingruppenminerale in Kiessanden der mittleren Saale und Weißen Elster, Sachsen-Anhalt. *Glückauf – Die Fachzeitschrift für Rohstoff, Bergbau und Energie* 146, 11, 2010, 565–570.

**Young 1972**

W. J. Young, The fabulous gold of the Pactolus valley. *Bull. Boston Museum of Fine Arts* 70, Nr. 359, 1972, 4–13.

---

**Abbildungsnachweis**

- |    |   |           |   |
|----|---|-----------|---|
| 1  | G. Borg, Halle (Saale)  | 13        | aus Ehser u. a. 2011  |
| 2  | G. Borg, Halle (Saale)  | 14        | Leveridge u. a. 1990; Penhallurick 1986; Penhallurick 1997  |
| 3  | Verf.   | 15        | G. Borg, Halle (Saale) – Aufnahme 2017; photographed in 2017  |
| 4  | Foto: A. Schmiderer   | 16        | adaptiert nach Hosking 1966 und Leveridge u. a. 1990; adapted from Hosking 1966 and Leveridge et al. 1990 |
| 5  | Foto: J. Lipták, München; Objekt G. Borg, Halle (Saale)   |           |   |
| 6  | G. Borg, Halle (Saale)  |           |   |
| 7  | Schmiderer 2009   |           |   |
| 8  | Schmiderer u. a. 2007   |           |   |
| 9  | Datensatz aus Schmiderer 2009, modifiziert durch Verf.; data set from Schmiderer 2009, modified | Tab. 1    | nach Schmiderer 2009  |
| 10 | Verf. nach Schmiderer 2009  | Tab. 2    | Verf.   |
| 11 | modifiziert nach Ehser u. a. 2011; modified according to Ehser et al. 2011                      | Anhang I  | Verf., modifiziert nach Schmiderer 2009 (modified after Schmiderer 2009)                                  |
| 12 | Foto: P. Bhalla   | Anhang II | Verf.   |

## **Anschriften**

Prof. Dr. Gregor Borg  
Institut für Geowissenschaften und Geographie  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Von-Seckendorff-Platz 3  
06120 Halle (Saale)  
gregor.borg@geo.uni-halle.de

Prof. Dr. Ernst Pernicka  
Curt-Engelhorn Zentrum für Archäometrie  
D6,3  
68159 Mannheim  
ernst.pernicka@cez-archaeometrie.de