

Schwermineraluntersuchungen an Palladium-, Iridium- und Osmium-Mineralen führenden Goldseifen aus Niederbayern, Deutschland

Harald G. Dill, Detlev Klosa, Gustav Steyer & Martin Füßl*

Dill, H.G., Klosa, D., Steyer, G. & Füßl, M. (2007): Schwermineraluntersuchungen an Palladium-, Iridium- und Osmium-Mineralen führenden Goldseifen aus Niederbayern, Deutschland. [Study of palladium-, iridium- and osmium-bearing heavy minerals (PGM) in gold-placer deposits in Niederbayern, Germany.] – Z. dt. Ges. Geowiss., 158: 1005–1010, Stuttgart.

Kurzfassung: Platingruppenminerale/PGM (Iridosmin, Ir-Os-Sulfid), Porpezit (Pd-führendes Gold), silberfreies Gold und Goldamalgame werden aus Seifen mit alluvialen und fluvialen Charakter im Vorland des Bayerischen Waldes beschrieben und mittels Rasterelektronenmikroskopie (SEM-EDX) analysiert. Die PGM-Funde gehen auf die basischen bis ultrabasischen Magmatite des Teplá-Barrandium in der Böhmisches Masse zurück. Die Cu-führenden Pd-Gold-Vorkommen stehen möglicherweise mit bisher unbekanntem Fe-reichen sulfidfreien Scherzonen im hochmetamorphen Kristallinstockwerk des Bayerischen Waldes im Zusammenhang. Für das Ag-freie Waschgold lassen sich keine Angaben über die genaue Quelle machen. Unmittelbar flussaufwärts der untersuchten Flussseife an der Donau wurden Amalgamierungsversuche zur Goldgewinnung in der jüngeren Geschichte durchgeführt.

Abstract: Platinum-Group Minerals/PGM (Iridosmine, unnamed Ir-Os sulfide), porpezite (Cu-Pd-bearing gold), Ag-free gold and goldamalgame from alluvial and fluvial placers in the foreland of the Bayerischer Wald, Germany, have been investigated by means of SEM-EDX. PGMs identified in the heavy mineral concentrate are supposed to have been originated from (ultra)basic igneous rocks of the Teplá-Barrandian Zone, part of which is also exposed in the eastern Bayerischer Wald. Cu-bearing porpezite may have derived from the denudation of hematized sulfide-free shearzones in the highly regionally metamorphosed parts of the Bayerischer Wald. Unlike the PGM, no definite provenance area can be claimed to have delivered the Pd-bearing gold grains. This is also true for the Ag-free gold, because of the ubiquitousness of potential source rocks in the adjacent crystalline basement. There is no doubt about beneficiation attempts made in the recent past to amalgamate placer gold upstream of the sampling site on the banks of the River Danube.

Schlüsselwörter: Schwerminerale, Iridium, Osmium, Palladium, Gold, Niederbayern, Deutschland

Keywords: heavy minerals, iridium, osmium, palladium, gold, Lower Bavaria, Germany

1. Einleitung

Gold im nordostbayerischen Grundgebirge, sei es auf primärer oder sekundärer Lagerstätte, ist von zahlreichen Stellen bekannt, wenn auch nirgends in einer Menge, die einen lang anhaltenden Bergbau auf diese Edelmetall-Vorkommen erlaubt hätte (Gümbel 1868, 1879, Lehrberger & Martinek 1996). Platin-Gruppen-Elemente (PGE) sind bisher weder als Einzelvorkommen noch

in Verbindung mit Goldseifen aus dieser Region oder dem übrigen Deutschland beschrieben worden. Im Folgenden wird eine schwermineralogische Untersuchung eines solchen PGM-Au-Vorkommens vorgestellt und die Bildung dieser Seifen bzw. die Herkunft der Edelmetall führenden Erzminerale diskutiert. Die Beprobung erfolgte entlang der Donau in den quartären Talauen im Raum Straubing, im Vorland des Grundgebirges des Bayerischen Waldes.

* Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. habil. Harald G. Dill (dill@bgr.de), Detlev Klosa, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Postfach 510163, D-30631 Hannover;

Gustav Steyer, Raubersrieder Weg 14, D-90530 Wendelstein;

Dipl.-Geogr. Martin Füßl, A.-v.-Humboldt-Str. 4, D-92711 Parkstein.

2. Material und Methoden

Die Proben wurden klassisch nassaufbereitet und in der Weise untersucht, wie dies u. a. bei Boenigk (1983) für transparente Minerale dargestellt wird. Die opaken Mineralphasen wurden mit Hilfe des SEM-EDX betrachtet und analysiert, da eine auf Anschliffen basierende Untersuchung der Mineralkörner, wie im Falle der Zinn- und Titanseifen (Millimeterbereich) des nordostbayerischen Grundgebirges, aus Korngrößengründen mittels Elektronenstrahlmikrosonde nicht in Frage kam (Dill et al. 2006, 2007). Das Rasterelektronenmikroskop Quanta 600 FEG, gekoppelt mit einem EDX-System (Gemini), ist auf drei verschiedene Kammerdruckbereiche einstellbar: (1) Hochvakuum (ca. 10^{E-6} mbar), (2) LowVac (ca. 1 bis 10 mbar), (3) ESEM (ca. 10 bis 30 mbar). Da die Proben im „LowVac“-Bereich gemessen werden, können bei diesem Kammerdruck ungesputterte Proben betrachtet und mit EDX gemessen werden, was besonders für Kleinstproben dieser Art von Vorteil ist.

3. Ergebnisse

Die Rohkonzentrate der Schwerefraktion aus den Edelmetallseifen enthalten Magnetit, Granat, Zirkon und Monazit, die aufgrund ihrer weiten Verbreitung in den Schwermineralfraktionen im nordostbayerischen Grundgebirge und seinem Vorland keiner weiteren Betrachtung unterzogen wurden (Schnitzer 1957, Dill & Zech 1980, Salger 1985, Dill 1989, 1995, 1998).

Die PGM-Erzminerale fallen in der Waschpfanne bereits durch ihren mattsilberfarbenen Glanz auf, der sich deutlich von dem der hellen gelbfarbenen Goldseifenkörner abhebt.

Es handelt sich nach Untersuchungen mittels SEM-EDX um Iridium-Osmium-Legierungen bzw. um Iridosmium-Mischkristalle mit einer Zusammensetzung im Bereich $\text{Ir}_{75}\text{Os}_{25}$ bis $\text{Ir}_{60}\text{Os}_{40}$. Die Korngröße dieser Iridosmium-Mischkristalle liegt im Bereich 150 μm bis 300 μm . Osmiumreiche Mineralkörner besitzen eine hohe Sphärizität mit einem Verrundungsgrad, der sich als „subrounded“ bis „subangular“ bezeichnen lässt (Abb. 1a). Iridiumreichere Vertreter aus der Iridosmium-Mischkristallreihe zeigen eine geringere Sphärizität aber einen besseren Zurundungsgrad, der rein visuell als „rounded“ bezeichnet werden kann (Abb. 1b).

Die Iridosmium-Mischkristalle werden von einem Iridium-Osmium-Sulfid begleitet, das durch seine sehr hohe Sphärizität und eine perfekte Zurundung auffällt (Abb. 1c). Die chemische Zusammensetzung mit 34 Gew.-% Ir, 50 Gew.-% Os und 16 Gew.-% S würde zu einem Sulfid mit einer Mineralformel von etwa $\text{Ir}_2\text{Os}_3\text{S}_5$ führen. Diese Mineralformel weist keine Übereinstimmung mit einem der von Cabri (2002) aufgelisteten bisher benannten Pla-

tin-Gruppen-Mineralphasen (PGM) auf. Da aufgrund der geringen Korngröße von ca. 150 μm keine kristallografischen Detailuntersuchungen möglich sind, kann man bisher nur Näherungsversuche zu bekannten PGMs herstellen. Es könnte sich um eine dem Erlichmanit (OsS_2) nahe stehende Mineralphase handeln. Iridiumreicher Erlichmanit wird von Nilsson (1990) aus dem Ultramafit von Osthhammeren in Norwegen beschrieben.

Als dritte PGM-Phase tritt kupfer- und palladiumführendes Gold auf $\text{Au}_{75}\text{Pd}_{15}\text{Cu}_{10}$ (Abb. 1d). Die angularen gestreckten Körner von Porpezit (Gold mit bis zu 10 % Pd) fallen bereits durch ihre gelbe Färbung auf.

Die begleitenden nebengemengteilmfreien Goldkörner liegen korngößenmäßig unter 50 μm und sind vom Rundungsgrad als sehr unreif anzusprechen (Abb. 1e).

Außerdem treten in der Schwermineralfraktion agglomerierte Bestandteile auf, die sich unter dem SEM-EDX chemisch als sehr heterogenes Goldamalgam erweisen (Abb. 1f). Die porösen Fragmente des Agglomerates (< 20 μm) haben eine Zusammensetzung zwischen $\text{Au}_{60}\text{Hg}_{40}$ und $\text{Au}_{64}\text{Hg}_{36}$ (Abb. 1g). Weitere Legierungsbestandteile, wie etwa Cu, Ag oder PGEs, lassen sich nicht nachweisen. Die blasenartige hellere Matrix ist dagegen reicher an Quecksilber mit einer nahezu konstanten Zusammensetzung von etwa $\text{Au}_{50}\text{Hg}_{50}$.

4. Diskussion

4.1. Die Kornmorphologie der opaken Phasen

Die PGM-Goldseife führt opake Phasen, die eine sehr unterschiedliche Kornmorphologie aufweisen. Den besten Verrundungsgrad weist das Ir-Os-Sulfid auf (Abb. 1c). Zum Vergleich wird ein Seifengoldkorn mit nahezu gleichem Verrundungsgrad präsentiert, das rein terrestrischer Entstehung ist (Abb. 1i). Dieser visuelle Vergleich mag möglichen Spekulationen einer extraterrestrischen Genese dieser Ir-Os-Anreicherung im Voralpenland vorbeugen helfen („Chiemgau Impact“). Das unbekannte Ir-Os-Sulfid ist wahrscheinlich mit dem bekannten Mineral Erlichmanit verwandt. Dieser weist kubische Kristallstruktur auf, was mit der hohen Sphärizität des unbekanntes Ir-Os-Sulfids gut übereinstimmen würde. Die schlechteste Verrundung zeigt der Porpezit. Es handelt sich um ein fluviatiles Plattgold („milled gold“), das aufgrund eines längeren Transportes und seiner geringen Härte bereits „eingefaltet“ und zu einem keulenartigen Korn umgestaltet wurde. Ein initiales Stadium dieser randlichen Einfaltung ist an einem Vergleichsgoldkorn aus einer Flussseife der Selenga in der Mongolei gut erkennbar. Dieser Prozess ist besonders vorteilhaft für die Klärung von Herkunftfragen, da durch dieses randliche Einfalten anhaftende Nebengesteins- und Mineraleinschlüsse im Verlauf

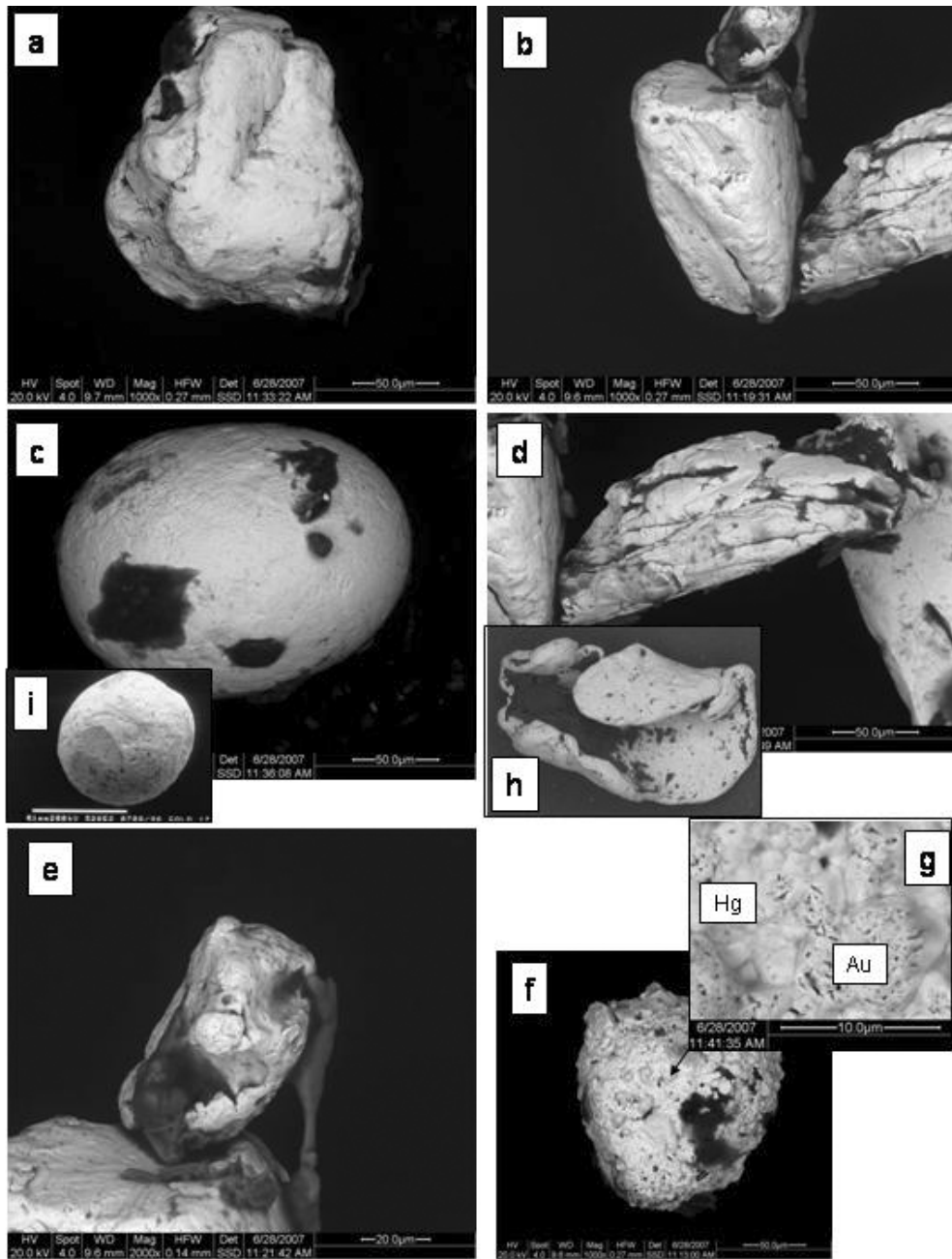


Abb. 1: Opake Schwermineralphasen unter dem Rasterelektronenmikroskop.

a) Iridiumarme Iridosminlegierung, b) iridiumreiche Iridosminlegierung, c) unbekanntes Iridiumosmiumsulfid, d) Palladium und Kupfer führendes Gold (Porpezit), e) silberfreies Gold, f) Goldamalgamartefakt, g) Ausschnitt aus Abbildung 1f zeigt die beiden Phasen im Goldamalgam (Hg: schaumige Hg-reiche Phase bildet die Matrix, Au: poröse Au-reiche Körner), h) plattiges Gold aus einer Flusseite der Selenga in der Mongolei zum Vergleich. Sie zeigt das beginnende Einklappen der Randbereiche des „milled gold“, i) sehr gut verrundetes Goldkorn aus einer alluvial-fluviatilen Seife aus Guinea zum Vergleich (Foto: Dr. Hirdes, BGR, Hannover).

Fig. 1: Micrograph showing opaque minerals under the scanning electron microscope (SEM).

a) Iridosmine poor in iridium, b) Iridosmine enriched in iridium, c) unnamed iridium-osmium sulfide, d) palladium- and copper-bearing gold (porpezite), e) gold silver free, f) artifact of gold amalgam, g) close-up view of figure 1f showing different phases of gold amalgam (Hg: collomorphous globular matrix enriched in mercury, Au: porous grains enriched in gold), h) platy gold grains from the fluvial placers of the Selenga drainage system in Mongolia for comparison. Thin plates of milled gold showing initial wrapping of gold plates at the edge, i) well-rounded gold grain taken from an alluvial-fluvial placer in Guinea for comparison (by courtesy of Dr. Hirdes, BGR, Hannover).

des weiteren Transports vor Abrasion geschützt werden – siehe auch Dill et al. (2006). Die übrigen Körner in Abbildung 1a und 1b lassen einen solchen Umlagerungsprozess vermuten. Das reine Waschgold in Abbildung 1e ist ein „nugget gold“. Das Goldamalgam lässt bereits aufgrund seiner Oberflächentextur die Vermutung zu, dass der Entstehungsort unmittelbar stromauf gelegen haben muss (Abb. 1f und 1g). Die Morphologie der PGM-Phasen wird sehr stark durch die Härte und Kristallstruktur der Mineralphasen beeinflusst; dies gilt zum Teil auch für das Gold, das anhand seiner Erscheinungsform als alluvial („nugget“) oder als fluviatil („milled“, „advanced reworked“) eingestuft werden kann. Die Aufbereitungsartefakte des Goldamalgams weisen anhand ihrer Morphologie auf einen sehr kurzen Transport hin (Abb. 1f, 1g).

4.2. Die Herkunft der opaken Phasen

Die untersuchte fluviatile Seife besteht aus transparenten und opaken Schwermineralen und Aufbereitungsartefakten. Die transparenten Schwerminerale sind nicht als herkunftskritisch anzusehen. Eine weitere Betrachtung dieser Mineralphasen unterbleibt. Aufbereitungsartefakte deuten daraufhin, dass im Oberlauf der Seife Amalgamierungsversuche an Seifengold durchgeführt wurden. Goldamalgam ($\text{Au}_{0.75}\text{Ag}_{0.25}\text{Hg}$) und Weishanit ($\text{Au}_{2.25}\text{Ag}_{0.75}\text{Hg}_2$) als Minerale enthalten durchweg Silber wie die Mineralformeln erkennen lassen. Die Au-Hg-Aggregate sind Artefakte mit quasi silberfreiem Gold, was auf ein sekundäres alluviales bis fluviales Goldvorkommen schließen lässt, da primäres Gold durchweg mit Silber legiert ist. Die im Amalgam nachgewiesenen Au-Hg-Körner sind nur unwesentlich kleiner als die silberfreien Goldkörner im Schwermineralkonzentrat selbst und es spricht nichts gegen die Annahme, dass das in der Seife vorhandene Gold auch als Aufgabegut für die Amalgamierung verwendet wurde. Porpezit wurde offensichtlich bei der Amalgamierung nicht mit erfasst. Die schaumig-poröse Hg-reiche Matrix lässt darauf schließen, dass es sich um einen relativ jungen Amalgamierungsversuch handelte, da in älteren Aufbereitungskonzentraten eine Alterung des Quecksilbers bzw. Amalgams erkennbar wird, was mit einem Übergang von glaskopffartigen Oberflächentexturen zu hakigen, kristallähnlichen Formen einhergeht. Die Porosität des Goldkorns selbst sagt wenig über Herkunft und Entstehung aus, da dessen Oberflächentextur ausschließlich eine Frage der Benetzungsdauer der Aufbereitungsagenzien ist (Levlin et al. 1996). Amalgamierung wurde bereits von Agricola in seiner *De Re Metallica* (1556) beschrieben. Das 16. Jahrhundert dürfte für unseren Bereich die Obergrenze der Verwendung von Quecksilber als Aufbereitungsmittel darstellen. Goldamalgam Au_2Hg_3 und Weishanit $(\text{Au},\text{Ag})_3\text{Hg}_2$ sind kristalline Phasen, wobei erstere kubische und letztere

hexagonale Struktur aufweist. Ohne dies als eine Altersbestimmungsmethode verkaufen zu wollen, lässt sich aus dem Kristallinitätsgrad, und damit aus der Oberflächenmorphologie eines solchen amalgamhaltigen Aufbereitungsproduktes, bei annähernd gleicher Zusammensetzung eine vergleichende Altersbestimmung von Schwermineralproben vornehmen.

Palladium-haltiges Gold ist vom Westrand der Böhmisches Masse bisher noch nicht beschrieben worden. Die Seifengoldvorkommen im Alten Gebirge NO-Bayerns sind meist silberarme alluvial-fluviatile Seifen. Vom NO-Rand der Böhmisches Masse, aus den Westsudeten, sind jedoch derartige Seifenanreicherungen bekannt (Malec & Veselovsky 1985). In Permokarbonablagerungen des Lügicums treten Goldseifen auf, die bis zu 10 Gew.-% Pd im Goldkorn enthalten. Begleitet werden diese von Stibiopalladinit (Pd_5Sb_2) und Potarit (PdHg). Das bekannteste Vorkommen von Pd-haltigem Gold befindet sich in der Caue-Eisengrube, die auf BIF-Eisenerze im Itabira-Erzbezirk in Brasilien baut (Olivo et al. 1995). Die höchsten Goldgehalte lassen sich in Hämatitgängen nachweisen. Der Hauptmineralisationsprozess, der zu dieser Pd-Au-Mineralisation im Eisenerz führte, wird von den Autoren mit dem Höhepunkt der Metamorphose korreliert, welcher bei einer Temperatur von 600 °C erreicht und von einer starken Scher- und Überschiebungstektonik begleitet wurde. Palladium tritt in gediegener Form nur im oxidierenden Milieu auf, entsprechend dem Stabilitätsfeld des Hämatits (Cabral & Lehmann 2003). Die genannten Autoren beschreiben ein Goldnugget aus dem Spekularit-Gold-Quarz-Gang im Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasilien), dessen Zusammensetzung dem aus Niederbayern entspricht ($\text{Au}_{0.79}\text{Pd}_{0.09}\text{Cu}_{0.07}\text{Ag}_{0.04}\text{Hg}_{0.01}$). Als weiteres Referenzvorkommen lässt sich die bekannte Au-Pd-Pt-Lagerstätte Serra Pelada (Carajás, N-Brasilien) anführen (Cabral et al. 2002). Die Dominanz von Gold als Au-Pd-Legierung wird nach Untersuchungen der Autoren als eine oberflächen-nahe Bonanza-Lagerstätte in einem schwefelfreien hydrothermalen Milieu angesehen. Ähnliche mineralogische Verhältnisse werden auch aus dem Bou-Azzer-El Graara-Inlier des Antiatlas (Marokko) von Ghorfi et al. (2006) beschrieben. Die variszisch geprägten Mineralisationen sind ebenfalls nahezu schwefelfrei und reich an Gold und Palladium.

Iridosmium-Legierungen sind häufige Begleiter in chromitführenden Ultramafiten und Ophioliten (Nilsson 1990, McElduff & Stumpfl 1990, Slansky et al. 1991). Im Falle des nahe gelegenen Bayerisch-Böhmisches Waldes rückt als mögliches Liefergestein der (Ultra)basit-Komplex des Hohen Bogens in das Blickfeld, der von Propach & Pfeiffer (1998) als Ozeanbodenbasalt und nicht als kontinentaler Gabbro reinterpretiert wurde, ein Umstand, der mit dem Auftreten der geschilderten PGMs, wie sie in Ophioliten vorkommen, in Einklang steht.

5. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die Schwerminerale haben sowohl alluvialen als auch fluvialen Charakter und entstammen dem nahen Bayerischen Wald. Die Funde von PGMs sind in den untersuchten Seifen wirtschaftlich uninteressant, sie lenken jedoch den Blick auf einen Teil der mitteleuropäischen Varisziden, der durch eine Häufung von basischen bis ultrabasischen Magmatiten geprägt ist und in dem primäre Ni-Cu-PGM-Vorkommen besonders im tschechischen Anteil der Böhmisches Masse (Ransko, Kunratice, Roňany, Svítavy) exploriert wurden (Dill et al. 2008). Die Seifenminerale haben in diesem Zusammenhang einen „ore guide“-Charakter, der auf die nahen Gesteine des Teplá-Barrandiums hinweist, wo nach Mrázek und Pouba (1995) an Metabasite gebundene Lagerstätten auftreten, die mit denen des Zyperntyps gleichgesetzt werden. Die PGMs in den Ophioliten des Troodos-Massivs auf Zypern sind nur von wissenschaftlichem Interesse. So wurden z. B. in der Kokkinorotsos-Mine Erlichmanit und Laurit (RuS₂ = Rutheniumdisulfid) mikroskopisch nachgewiesen. Daneben wurden auch Iridosmium, Eisen-Ruthenium- und osmiumführende Rutheniumlegierungen gefunden (McElduff & Stumpfl 1990).

Die Cu-führenden Pd-Gold-Vorkommen können mit bisher unbekanntem Fe-reichen sulfidfreien Scherzonen im hochmetamorphen Kristallinstockwerk des Bayerischen Waldes zusammenhängen.

Für das Ag-freie Waschgold lassen sich keine Angaben zur primären Quelle machen.

Es gilt jedoch als sicher, dass unmittelbar flussaufwärts an der Donau Amalgamierungsversuche zur Goldgewinnung durchgeführt wurden.

6. Danksagung

Wir danken Hans-Joachim Kleebe (Technische Universität Darmstadt) und Reiner Klemd (Universität Würzburg) für die Begutachtung der Arbeit.

7. Schriftenverzeichnis

Boenigk, W.C. (1983): Schwermineralanalyse: 158 S., Stuttgart (Enke).

Cabral, A.R. & Lehmann, B. (2003): A two-stage process of native palladium formation at low temperatures: evidence from a palladian gold nugget (Gongo Soco iron ore mine, Minas Gerais, Brazil). – *Mineralogical Mag.*, 67:453–463, Cambridge.

Cabral, A.R., Lehmann, B., Kwitko, R. & Cravo Costa, C.H. (2002): The Serra Pelada Au-Pd-Pt deposit, Carajás Mineral Province, Northern Brazil: reconnaissance mineralogy

and chemistry of very high grade palladian gold mineralization. – *Economic Geol.*, 97: 1127–1138, Lancaster.

Cabri, L. (2002): The platinum-group minerals. – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM), Spec. Volume, 54: 13–129, Ottawa.

Dill, H.G. (1989): Facies and provenance analysis of Upper Carboniferous to Lower Permian fan sequences at a convergent plate margin, using phyllosilicates, heavy minerals and rock fragments (Erbendorf Trough, F.R. of Germany). – *Sedimentary Geol.*, 61: 95–110, Amsterdam.

Dill, H.G. (1995): Heavy mineral response to the progradation of an alluvial fan: implication concerning unroofing of source area, chemical weathering, and paleo-relief (Upper Cretaceous Parkstein fan complex / SE Germany). – *Sedimentary Geol.*, 95: 39–56, Amsterdam.

Dill, H.G. (1998): A review of heavy minerals in clastic sediments with case studies from the alluvial fan through the nearshore-marine environments. – *Earth Sci. Rev.*, 45: 103–132, Amsterdam.

Dill, H.G. & Zech, W. (1980): Schwermineralverteilung in einigen bayerischen Deckschicht- und Bodenprofilen. – *Geol. Jb.*, D 41: 3–22, Hannover.

Dill, H.G., Melcher, F., Fuessl, M. & Weber, B. (2006): Accessory minerals in cassiterite: a tool for provenance and environmental analyses of colluvial-fluvial placer deposits (NE Bavaria, Germany). – *Sedimentary Geol.*, 191: 171–189, Amsterdam.

Dill, H.G., Melcher, F., Fuessl, M. & Weber, B. (2007) The origin of rutile-ilmenite aggregates (“nigrine”) in alluvial-fluvial placers of the Hagendorf pegmatite province, NE Bavaria, Germany. – *Mineralogy and Petrology*, 89: 133–158, Wien.

Dill, H.G., Sachsenhofer, R.F., Grecula, P., Sasvári, T., Palinkaš, L.A., Borojevič-Šošarić, S., Strmić-Palinkaš, S., Prochaska, W., Garuti, G., Zaccarini, F., Arbouille, D. & Schulz, H.-M. (2008): Fossil fuels, ore – and industrial minerals. – In: McCann, T. (Hrsg.): *Geology of Central Europe*. – Geol. Soc. London, Spec. Publ., London (im Druck).

Ghorfi, M., Oberthür, T., Melcher, F., Lüders, V., Boukhari, A., Maacha, L., Ziadi, R. & Baoutoul, H. (2006): Gold-palladium mineralization at Bleida Far West, Bou Azzer-El Graara Inlier, Anti-Atlas, Morocco. – *Mineralium Deposita*, 41: 549–564.

Gümbel, C.W. von (1868): Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges oder des Bayerischen Waldgebirges: 968 S., Gotha.

Gümbel, C.W. von (1879): Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges mit dem Frankenwald und westlichen Vorland: 698 S., Gotha.

Lehrberger, G. & Martinek, K.-P. (1996): Metamorphe Goldvererzungen und assoziierte Seifenlagerstätten im Moldanubikum des Bayerischen Waldes und südlichen Böhmerwaldes. – In: Obermüller, T. (Hrsg.): *Mineralien und Lagerstätten des Bayerischen Waldes*. – Tagungsbd. VFMG-Sommertag.: 179–197, Kötzing.

Levlin, M., Niemi, H.E.-M., Hautajärvi, P., Ikävalko, E. & Laitinen, T. (1996): Mercury adsorption on gold surfaces employed in the sampling and determination of vaporous mercury: a scanning tunneling microscopy study. – *Fresen-*

- ius' *J. Analytical Chemistry*, 355: 3–9, Heidelberg (Springer).
- Malec, L. & Veselovsky, F. (1985): Gold mining in the neighbourhood of Svoboda nad Upou. *Rozpr. – Nar. Techn. Muz.*, 99: 149–160 (in Tschechisch).
- McElduff, B. & Stumpfl, E.F. (1990): Platinum-group minerals from the Troodos ophiolite, Cyprus. – *Mineralogy and Petrology*, 42: 211–232.
- Mrázek, P. & Pouba, Z. (1995): Metallogenesis. – In: Dallmeyer, R.D., Franke, W. & Weber, K. (Hrsg.): *Tectono-stratigraphic evolution of the Central and East European orogens*: 411–414, Heidelberg (Springer).
- Nilsson, L.P. (1990): Platinum-group mineral inclusions in chromitite from the Osthhammeren ultramafic tectonite body, South Central Norway. – *Mineralogy and Petrology*, 42: 249–263.
- Olivo, G.R., Gauthier, M., Bardoux, M., de Sa, E.L., Fonseca, J.T.F. & Santana, F.C. (1995): Palladium-bearing gold deposit hosted by Proterozoic lake superior-type iron-formation at the Caue iron mine, Itabira District, southern Sao Francisco Craton, Brazil; geologic and structural controls. – *Economic Geol.*, 90: 118–134, Lancaster.
- Propach, G. & Pfeiffer, T. (1998): Ocean floor basalt, not continental gabbro: a reinterpretation of the Hoher Bogen amphibolites, Teplá-Barrandian, Bohemian massif. – *Int. J. of Earth Sci.*, 87: 303–313, Stuttgart.
- Salger, M. (1985): Schwer- und Tonminerale des Keupers in der Forschungsbohrung Obernsees. – *Geologica Bavarica*, 88: 143–147, München.
- Schnitzer, W.A. (1957): Die Lithologie und Paläogeographie des Buntsandsteins am Westrand der Böhmisches Masse. – *Erlanger geol. Abh.*, 24: 1–130, Erlangen.
- Slansky, E., Barron, L.M., Suppel, D., Johan, Z. & Ohnenstetter, M. (1991): Platinum mineralization in the Alaskan-type intrusive complexes near Fifield, N.S.W., Australia. Part 2. Platinum-group minerals in placer deposits at Fifield. – *Mineralogy and Petrology*, 43:161–180, Wien.

Manuskript eingegangen: 17.07.2007

Annahme zur Veröffentlichung: 19.10.2007