

Zinnoberlagerstätten im Vergleich

Auswahl historisch bedeutender Vorkommen

Renate Nöller

Einleitung

Zinnober ist das am häufigsten vorkommende Erz des Quecksilbers (HgS). Es fällt auf Grund seiner leuchtend roten Farbe auf. Seit der Frühgeschichte ist es als Pigment in vielen Kulturen weit verbreitet. Selten sind die Bezugsquellen des Rohstoffes und somit die mit diesen verbundenen Handelsbeziehungen bekannt.

Zur Herkunftsbestimmung wird das von verschiedenen Lagerstätten stammende mineralische Farbpigment in Bezug auf seine Genese geochemisch und morphologisch charakterisiert. Zinnober (Cinnabarit) ist trigonal- rhomboedrisch und kann zusammen mit der selteneren schwarzen kubischen Modifikation Metacinnabarit vorkommen. Oft sind die Erze mit reinem Quecksilber und anderen Metallsulfiden assoziiert.

Die Bildung erfolgt im niedrigthermalen Bereich in Zusammenhang mit Vulkanismus entlang orogener Gürtel in Gängen, Hohlräumen oder Rissen von zerklüftetem Gestein (Varekamp & Buseck 1984). Nicht selten finden sich Thermalquellen in der Nähe.

Entsprechend der Erzgenese kommt Cinnabarit in unterschiedlich rotem Farbton vor. Maßgebend hierfür sind speziell auf die Bildungsbedingungen zurückzuführende Faktoren wie Korngröße, kristalline Struktur, Verunreinigungen (Elemente, Spurenelemente, Störstellen), sowie der Einfluss der Begleitminerale Calcit, Dolomit, Quarz, Pyrit (FeS_2), auch Oripigment (As_2S_3), Realgar (AsS), Stibnit (Sb_2S_3), oder Bitumen. Folgende Lagerstättentypen sind erwähnt (Stelzner 1903-1906):

- Magmatisch hydrothermale Lagerstätte in der Sb- Hg- As- Se- Formation mit Schwefelgasen, als Imprägnation oder Verdrängung in tektonisch gestörtem Nebengestein, oft Sand- oder Kalkstein.
- Sekundäre Lagerstätte in der Oxidationszone von Erzlagerstätten zusammen mit Fahlerzen Cu, Ag, Fe, Pb, Zn (As, Sb) in vulkanischem Gestein, porösem Sandstein oder Tonschiefer.
- Flusslagerstätte mit Quarz, Chalcedon, Dolomit.

Zur Unterscheidung der Bildungsbedingungen werden dementsprechend folgende Elemente angeführt:

- Bei primärer hydrothermalen Bildung Sb, As, Se, (Bi, Te, U, W).
- Bei sekundärer Bildung in der Oxidationszone von Erzlagerstätten Cu, Ag, Fe, Pb, Zn (Au, Sb, As).

Des Weiteren ist erwähnt, dass zur Stabilisierung des Metacinnabarits in der Natur eine Diadochie von (Hg, Zn, Fe) und (S, Se) beobachtet wurde.

Die chemische Zusammensetzung von Cinnabarit mit der Bestimmung von Elementen und Spurenelementen ist von daher für die lokale Entstehungsgeschichte entscheidend. Die kristalline Ausbildung und Morphologie des Cinnabarits sind zudem Indikatoren der vor Ort herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen, sowie der Abkühlungsgeschwindigkeit während der Mineralisation.

Als signifikant für eine Lagerstätte werden ferner die Isotopenverhältnisse von Hg oder S betrachtet (Giesemann et al. 1994, Jurković 1996). Eine derartige Charakterisierung ist jedoch in den meisten Fällen nicht eindeutig, und sollte zur alleinigen Herkunftsbestimmung nicht herangezogen werden, da die isotopische Zusammensetzung oft auf Grund von mehr als einem Mineralisationszyklus und der leichten Flüchtigkeit von Cinnabarit schon innerhalb eines Fundortes starken Schwankungen ausgesetzt sein kann (Spangenberg et al. 2000, Spangenberg & Lavry 2003). Dasselbe trifft auch für die morphologische Ausbildung des Cinnabarits zu, so dass diese als Unterscheidungskriterium ebenso kritisch zu betrachten ist.

Die einzelnen Lagerstätten und die diesen zu Grunde liegenden Orogenesen weisen jedoch sehr weit auseinander liegende geologische Alter auf. So erfolgten die an Vulkanismus gebundenen Mineralisationen der vorliegenden Proben zwischen dem frühen Paläozoikum (Ordovizium 488 Ma, Silur 444 Ma, Devon 416 Ma, Karbon 359 Ma, Perm 299 Ma) bis hin zum späten Mesozoikum (Trias 251 Ma, Jura 200 Ma, Kreide 145 Ma). Die Merkmale des Cinnabarits werden in Bezug zu diesen geologischen Epochen und deren Provinzen gesehen.

Untersuchung

In der vorliegenden Arbeit werden Proben des Cinnabarits verschiedener Lagerstättentypen aus Deutschland, Spanien, Italien, der Slowakei, der Ukraine und Mexiko chemisch analysiert und entsprechend ihrer Genese näher charakterisiert.

Als Methode wird die Rasterelektronenmikroskopie ESEM (Firma Fei, Typ Quanta 200) verwendet. Neben der Element- und Spurenelementbestimmung können hiermit auch die Oberflächenstruktur, sowie gezielt ausgewählte Bereiche über Punktanalysen näher untersucht und verglichen werden. Die Messbedingungen des Spektrometers sind 90 Kcps max Impulsdurchsatz, 20 keV max Energie. Die Detektortemperatur beträgt $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, Kühlung/Thermostat. Das Bildsystem: Vergrößerung 100, Hochspannung 15,0 kV, Arbeitsabstand 26,0 mm, Format 1000 x 1000.

In Einzelfällen kommt die mobile Röntgenfluoreszenzanalyse ArtTAX (Firma intax, μXRF -Spektrometer) zum Einsatz. Zusätzlich werden die Proben im Polarisationsmikroskop betrachtet.

Ergebnisse

Deutschland – Pfalz

Die Vorkommen des Zinnober gehören in Deutschland zur hercynischen Gebirgsbildung, zum ostalpinen Nock- Gebiet, das zeitgleich mit den Vulkaniten des hohen Ordoviziums ist. Das Altkristallin wird hier von schwach metamorph geprägten Sedimenten überlagert. Die Erze liegen als kontakt- vulkanische Bildung in Buntsandstein vor. Sie sind eisenhaltig und von hellroter Farbe.

Der historische Abbau von Cinnabarit und Quecksilber ist in der Pfalz und in Bayern seit dem 15. Jh. belegt. Vermutlich ist der Bergbau jedoch viel älter. Es finden sich zahlreiche kleine Minen vor allem am Pfälzer Sattel (Resenberg 2005). In der Südpfalz, am Königsberg und in Lemberg bei Bad Kreuznach wurde Zinnober bis ins 19. Jahrhundert in 200 Meter Tiefe abgebaut. Hier befindet sich eine Kultstätte des Götterboten Merkur, was auf die Römerzeit hinweist. Er war Gott des Handels und Gewinns (*mercurius* = Quecksilber). Der Ort liegt an der Ost-West-Verbindung zwischen Rhein und Mosel, dort wo bereits eine keltische Siedlung und im 4. Jh. n. Chr. eine römische Flieburg nachweisbar sind. Heutzutage steht an dieser Stelle eine Burgruine aus dem Jahr 1230.

In Moschellandsberg (Landsberg bei Obermoschel) liegt das Erz in einer ausgeprägten Bruchfaltentektonik mit porphyritischem Gestein aus dem Oberkarbon vor. Spalten und Klüfte sind als hydrothermale Imprägnation mit Cinnabarit ausgefüllt. In der Grube Backofen wurde auch reines Quecksilber und Fahlerz



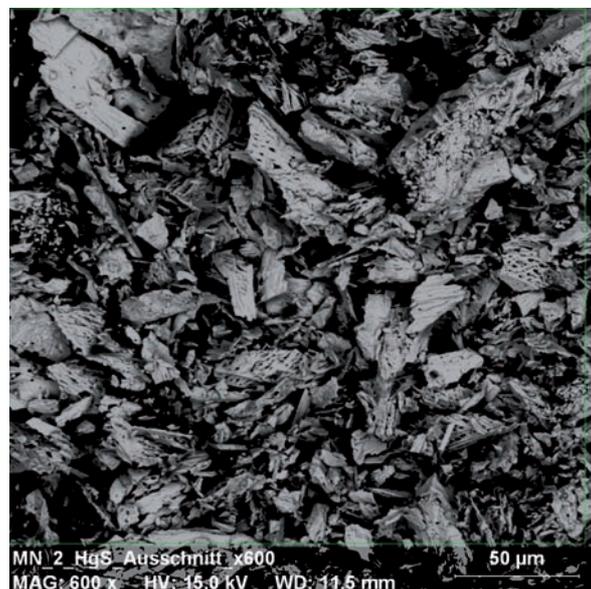
Abb. 1: Cinnabarit aus Stahlberg.
Fig. 1: Cinnabar from Stahlberg.

(Cu, Sb) abgebaut. Ferner steht Cinnabarit in Stahlberg, Wolfstein, Wölsendorf, und in Mörsfeld als Gangerz in Schieferthon und in Sandstein an. Erwähnt sind hier als Begleitminerale Pyrit, Bleiglanz, Antimonit, Fahlerz sowie auch Bitumen.

Im Saarland/ Düppenweiler kommt Cinnabarit in dem ehemaligen Kupferbergbauggebiet vor. Die devonischen Ablagerungen des Saar- Nahe Beckens sind vom Magma des unteren Perms durchsetzt.

Im Erzgebirge in Tieftal bei Hartenstein liegt Cinnabarit auf Quarz in Phyllit. Im 16. Jh. gab es in Wieda/ Harz eine Zinnoberzeche. Hier mineralisierte Cinnabarit als Gangerz in Tonschiefer zusammen mit Pyrit, Kupferkies und Braunspat. In Silberbach/ Harz fand sich durch Waschen angereichertes Erz (Agricola

Abb. 2: Oberflächenstruktur - Cinnabarit aus Wolfstein.
Fig. 2: Structure of the surface - Cinnabar from Wolfstein.



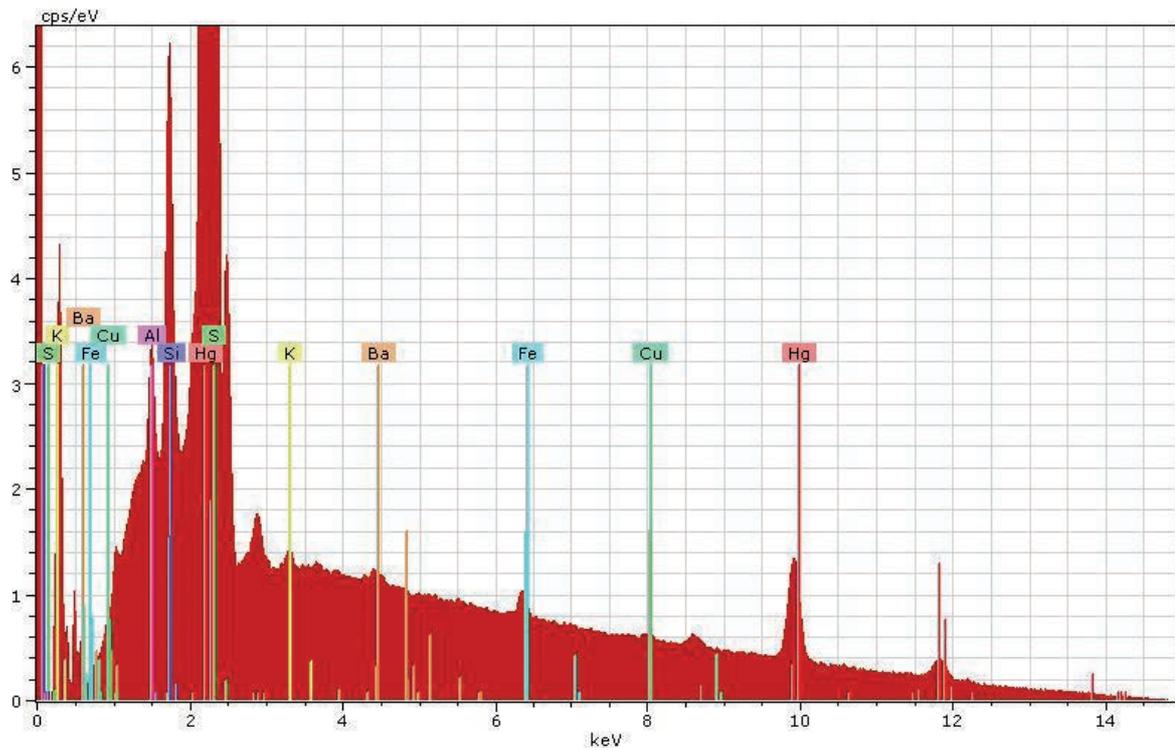


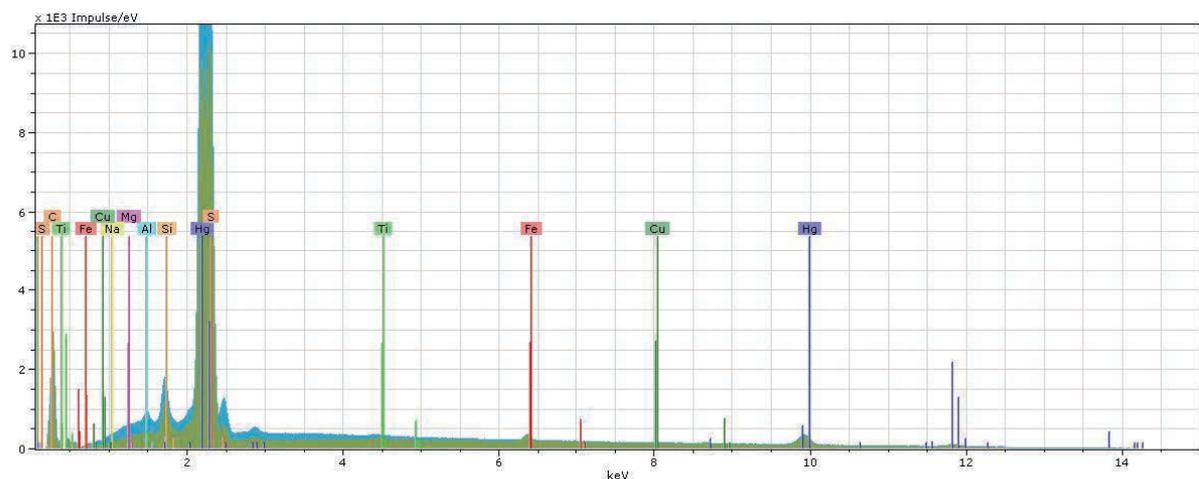
Abb.3: Elementzusammensetzung - Cinnabarit aus Wolfstein.
Fig. 3: Elemental composition - Cinnabar from Wolfstein.

1556). Im Siegerland bei Littfeld wurde in der Grube Anna Quecksilber aus einem Barytgang gewonnen.

Zur Untersuchung kamen Erze von Stahlberg (Abb. 1) und Wolfstein. Die Morphologie des Cinnabarits zeigt innerhalb der Lagerstätte von Wolfstein größere Kristallstücke bis zu krisseligen kleineren derben Aggregaten (Abb. 2), während in Stahlberg vorwiegend kleinere Aggregate teilweise auch

hexagonale Plättchen ausgebildet sind. Die Erze enthalten neben Quecksilber Kupfer und Eisen als Metalle (Abb. 3). Die Punktanalyse weist auch diese Elemente auf, so dass von einer für die Entstehung der Erze typischen Elementverteilung ausgegangen werden kann. Ein Vergleich der beiden Proben aus Deutschland bestätigt dies (Abb. 4). Zusätzlich konnten Barium und Kalium in einer Probe aus Wolfstein identifiziert werden.

Abb.4: Vergleich der Elementverteilung - Cinnabarit von Stahlberg mit Wolfstein.
Fig. 4: Comparison of the elemental composition - Cinnabar from Stahlberg and Wolfstein.



Etwa 225 km südwestlich von Madrid befindet sich in Spanien die Almadén Syncline. Hier liegt das weltweit reichste historische Abbaugelände für Quecksilber mit einem Anteil von bis zu einem Drittel der Gesamtproduktion. Die Erzbildung ist in der Literatur ausführlich beschrieben (Bethencourt 1935, Crawford 1988, Hauptmann & Slotta 1979, Hoppensack 1796, Saupé 1990).

Als Metallprovinz der variszischen Orogenese in Richtung NE-SW liegen die Lagerstätten alle in einer mittel- paläozoischen Abfolge in dem Criadero Quarzit und anderen vulkanischen Gesteinen des unteren Silurs. Schwarze Tonschiefer aus dem unteren Ordovizium mit Pyrit, Quarz, Calcit, Dolomit, Sericit, Tuff (Baryt, Chalcedon, Opal, Markasit, Realgar, Stibnit) bilden hier das Herkunftsgestein für Quecksilber und Schwefel. In dem Gebiet sind zwei vulkanisch- hydrothermal- sedimentäre Mineralisationen zu verzeichnen, eine frühe epithermale Phase in Verbindung mit dem Magmatismus des Silurs und eine späte Remobilisierung am Ende des Devons, die mit der hercynischen Orogenese in Richtung NW-SE assoziiert ist (Higueras et al. 1999a).

Es handelt sich um Imprägnationslagerstätten. In porösem Sandstein finden sich neben anderen Vererzungen drei Horizonte mit Cinnabarit als Ausfüllung von Poren. Schichtgebundene Erze liegen syngenetisch auch in Ganggesteinen und im Pyrophyllit- Kaolinit des oberes Devon, oder als jüngerer Stockwork- Erz in Adern, sowie als Verdrängung von Quarz und Pyrit des oberen Karbon.

Das Verhältnis der Isotope $^{202}\text{Hg}/^{198}\text{Hg}$ des Quecksilbers von Almadén schwankt von +0.37 ‰ bis +0.59 ‰, und von -0.59 ‰ bis +0.72 ‰ (Saupé & Arnold 1992). Die starke Variation der isotopischen Zusammensetzung ist auf eine Fraktionierung während der Bildung zurückzuführen und daher auch zwischen individuellen Lagerstätten unabhängig von dem verschiedenartigen Nebengestein (Higueras et al. 1999b, Smith et al. 2003).

Das gesamte Gebiet weist industriearchäologisch interessante Relikte des früheren Abbaus auf. Westlich des Ortes Almadén befinden sich Öfen mit einer Destillationsanlage. 1777 wurde hier eine Bergwerksschule gegründet (Pontes 1900). Das historische Gebäude ist heute als Museum eingerichtet der Öffentlichkeit zugänglich. In Las Cruces ist die Mine Las Cuevas mit inzwischen wieder verfüllten ehemaligen Abbau-Schächten zu besichtigen. Am südlichen Hang der Almadén Syncline liegt das heute noch vorhandene Abbaugelände der Mine Entredicho, die im Tagebau 270.000 Tonnen Quecksilber lieferte. Der hier anstehende graue Metacinnabarit zeigt entlang Rissen starke Umwandlung zu dem intensiv rot gefärbten Cinnabarit. Er ist mit blassem Stibnit assoziiert, der auch von Cinnabarit ersetzt wird.

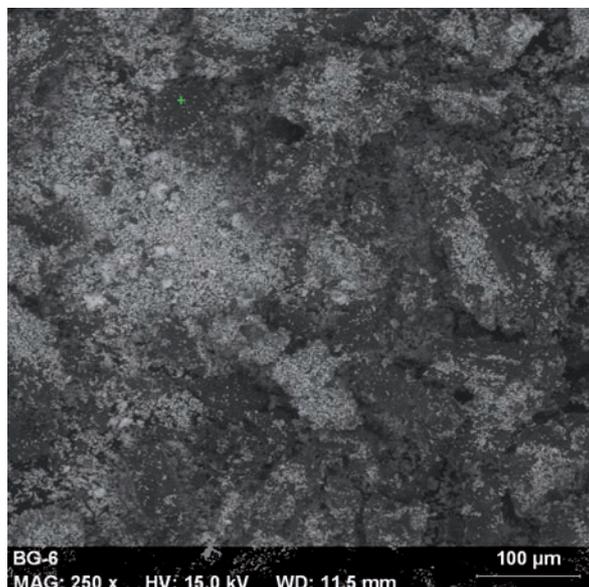


Abb.5: Cinnabarit aus Berrhi/Taragona.
Fig. 5: Cinnabar from Berrhi/Taragona.

Weitere Minen sind in Berrhi bei Taragona, die Taruna Mine, Riano und León.

Die älteste Quecksilber- Mine mit industriellem Abbau seit mehr als 2000 Jahren liegt in Andalusien am Nordhang der Sierra Morena, in der Provinz Castilla-La Mancha-Ciudad Real (Kelly 1945, Saupé 1990, Tamain 1971). In diesem Minen Distrikt finden sich auch Wandmalereien der frühen Bronzezeit (3000 v. Chr.) in der Cueva del Castillo und de la Pileta mit schematischen Darstellungen von Menschen. Hier wurde bereits von den einheimischen Kelt-Iberern und seit 400 v. Chr. von den Phöniziern (Karthagern) Blei abgebaut. Den Römern war Ciudad Real/Castillo la Mancha ab 150 v. Chr. bekannt. So berichten Theophrast und Plinius von dem Import des Erzes aus Sísapo in Bätika. Jährlich wurden von hier aus 1.000 kg

Abb. 6: Oberflächenstruktur - Cinnabarit aus Berrhi.
Fig. 6: Structure of the surface - Cinnabar from Berrhi.



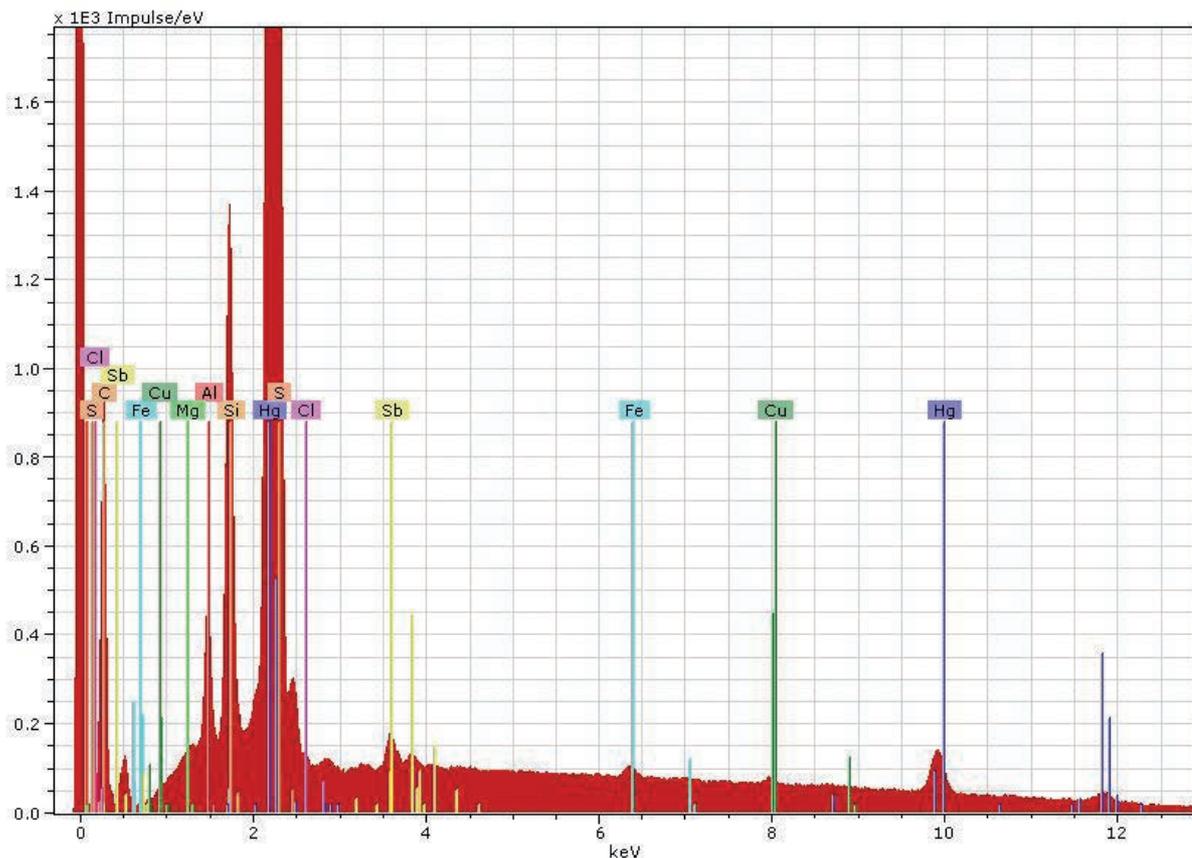


Abb.7: Elementverteilung - Cinnabarit aus Berrhi.
Fig. 7: Elemental composition - Cinnabar from Berrhi.

Quecksilber nach Rom gebracht. Die Herstellung von Zinnober erfolgte in Italien. Verwendet wurde es ab 25 v. Chr. in Rom und in Pompeji als Pigment, besonders als Farbe für Wandgemälde in den Häusern reicher Patrizier (Domergue 1990).

Durch die Araber wurde im 8.- 13. Jh. der Abbau der Quecksilbererze in Spanien intensiviert (*Almadén* arab.= Bergwerk). Die Mauren nutzen Zinnober vor allem in der Medizin und Alchemie. Im 12. Jh. gab es 450 m tiefe Minen mit mehr als 1.000 Arbeitern. Die Christen verwendeten dann Mitte des 13.- 16. Jh. kaum noch Zinnober oder Quecksilber, so dass in dieser Zeit auch nur wenig abgebaut wurde.

Mitte des 16. Jh. änderte sich dies wieder, da in den neuen Kolonien viel Quecksilber für die Gold- und Silbergewinnung durch Amalgamierung gebraucht wurde. Das meiste Quecksilber wurde über Sevilla nach Amerika (1555 nach Mexiko und 1570 nach Peru) gebracht. Nicht nur Almadén entwickelte sich erneut zu einer wichtigen Bergbau- und Industriestadt, ganz Spanien gewann weltweit an Bedeutung.

Von 1525 bis 1645 gehörte die Mine der Familie Fugger, die viele Erneuerungen einführten. Die deutschen Bankiers hatten in Almagro (*Al Magrib* arab.= Morgenland), östlich von Ciudad Real, die Herrschaft über ganz Calatrava mit seinen Quecksilberminen.

Zusätzlich pachteten sie Silber-, Kupfer- und Bleibergwerke in Spanien, wodurch sie großen Reichtum erlangten. In den Jahren 1530-1555 war der Abbau von Cinnabarit infolge eines Grubenbrands vorübergehend unterbrochen. Ende des 16. Jh. zogen sich die Fugger zurück. Mehrere spanische Staatsbankrotte bewirkten hohe Verluste im Kreditgeschäft.

Ab dem 17. Jh. nahm die Produktion des Quecksilbers stark ab. Der Abbau konnte auch nicht mehr oberflächennah erfolgen und Grubenwasser war ein großes Problem. 1693 brach in den Minen erneut ein großes Feuer aus, auch im Januar 1755 ist ein zwei Jahre anhaltendes Feuer registriert, das vielen Bergarbeitern das Leben kostete. Die Minen wurden daraufhin an die Familie Espeleta aus Bordeaux verkauft.

1782 bis 1796 übernahm ein deutscher Bergwerkdirektor, Johann Martin Hoppensack die Prospektion und den Abbau der Quecksilbererze. Er belieferte auch in Sevilla eine Fabrik zur Herstellung von Sieglack und Zinnober als Farbpigment aus reinem, feinkörnigen Cinnabarit. Trotz Einführung neuer Techniken litten die Bergarbeiter zu dieser Zeit unter starken Vergiftungserscheinungen und hatten keine hohen Lebenserwartungen, was dem Ruf von Hoppensack sehr schadete. Im frühen 19. Jh. verschlechterte sich die ökonomische Situation in Spanien zu-



Abb.8: Cinnabarit aus Almadén.
Fig. 8: Cinnabar from Almadén.

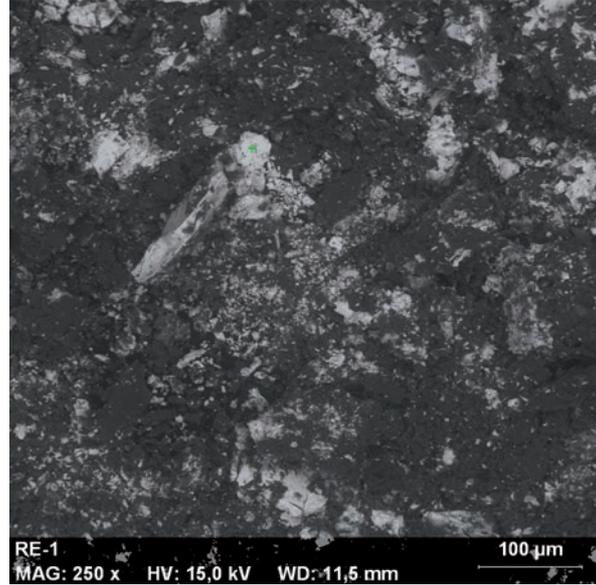


Abb. 9: Oberflächenstruktur - Cinnabarit aus Almadén.
Fig. 9: Structure of the surface - Cinnabar from Almadén.

nehmend. Der Abbau von Cinnabarit wurde staatlich betrieben.

Im Jahr 1835 übernahm das Haus Rothschild den weltweiten Handel mit spanischem Quecksilber, und beherrschte den Markt dergestalt, dass die Preise bei Auktionen in London um mehr als das Doppelte stiegen.

1916 wurde für die Minenarbeiter ein Konzil geschaffen und die Arbeitsbedingungen optimiert. Die Minen wurden 1928 als spanisches Staatsmonopol mit modernen Röstanlagen für die Erze ausgerüstet, so dass die durch Quecksilberdämpfe hervorgerufenen Vergiftungserscheinungen der Arbeiter re-

duziert werden konnten (Neumann 1921). Die von den Rothschilds gegründete Londoner Gesellschaft behielt weiterhin das weltweite Monopol für den Vertrieb des Erzes. Der Export betrug 1939 = 53.400 Flaschen zu je 34,5 kg Quecksilber (Kelly 1945). Nach dem Spanischen Bürgerkrieg, ab 1941 zur Zeit des Zweiten Weltkriegs erfolgte die Rekordproduktion mit 82.000 Flaschen.

1981 gründete die spanische Regierung eine Mineralgesellschaft. Seit dem Jahr 2002 ist die Produktion stillgelegt. Obwohl seit weit mehr als 2000 Jahren abgebaut wurde, sind die Vorkommen immer noch groß.

Abb. 10: Vergleich der Elementverteilung - Cinnabarit von Berrhi/Taragona mit Almadén/ Entredicho.

Fig. 10: Comparison of the elemental composition - Cinnabar from Berrhi/Taragona with Almadén/ Entredicho.

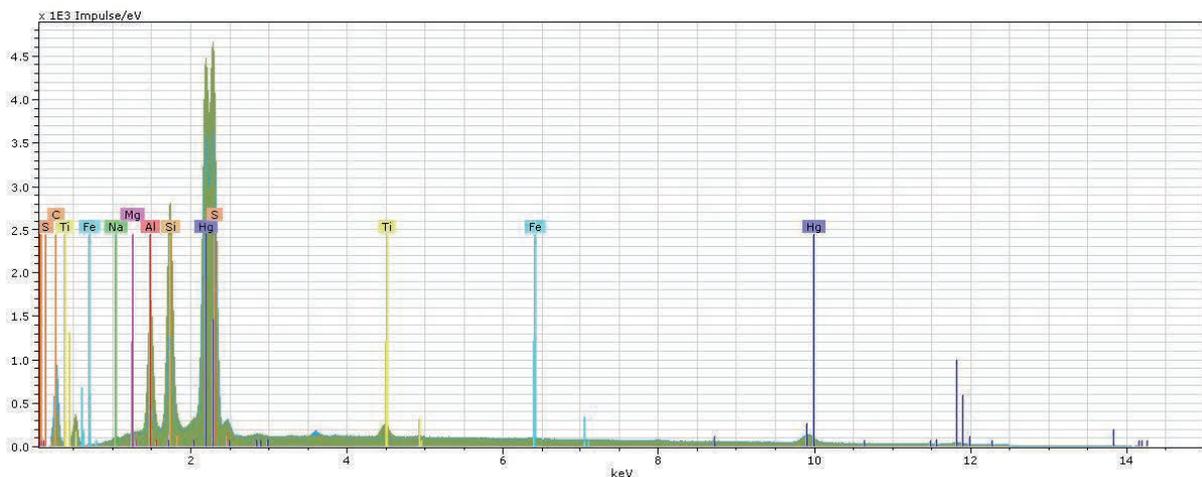




Abb. 11: Cinnabarit von Monte Amiata.
Fig. 11: Cinnabar from Monte Amiata.

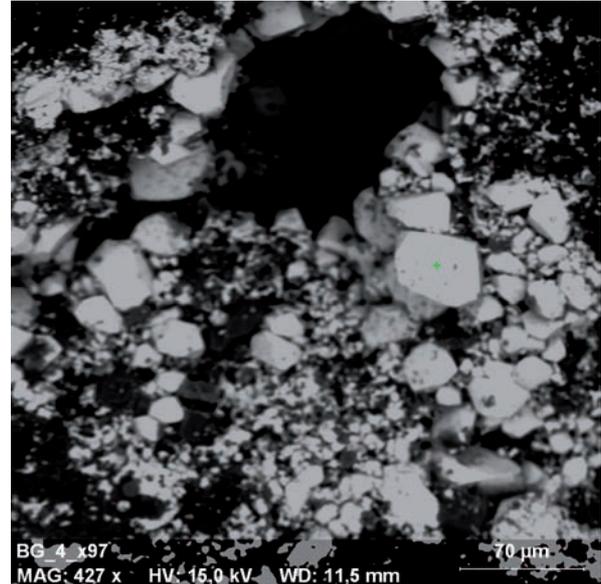


Abb. 12: Oberflächenstruktur - Cinnabarit von Monte Amiata/Toskana
Fig. 12: Structure of the surface - Cinnabar from Monte Amiata

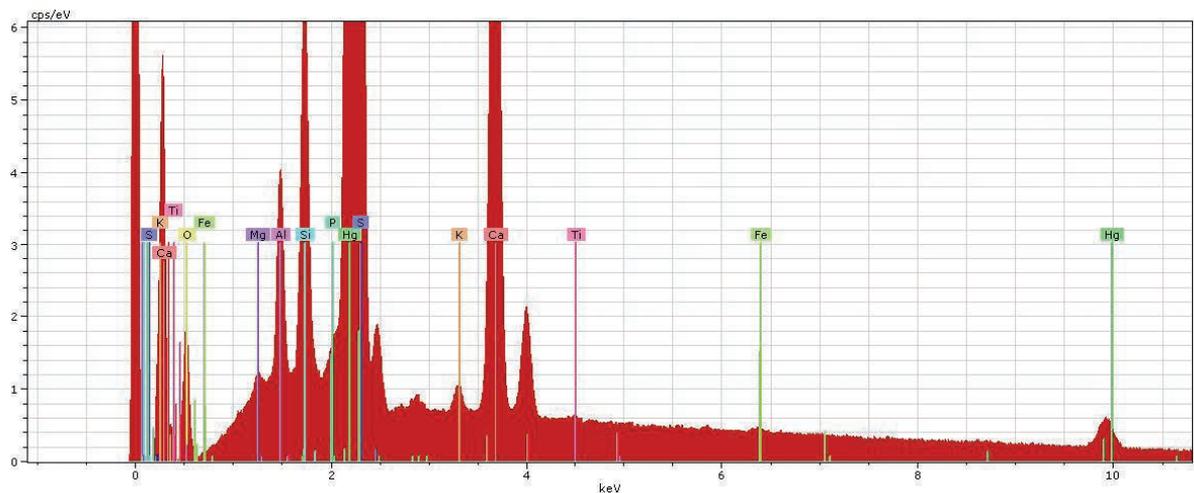
Zur Untersuchung kamen Erze von Berrhi Taragona (Abb. 5) mit hellrot gefärbtem Cinnabarit und Proben von Almadén (Abb. 8). Der Cinnabarit ist in beiden Proben sehr feinkörnig mit teilweise „wolkiger“ Erscheinung in Rissen (Abb. 6, Abb. 9). Die Erze weisen neben Quecksilbersulfid Si, Al, K, Mg, Ca, Fe, Ti auf, die von Taragona enthalten kein Ca, zusätzlich jedoch Cu, Sb und Cl (Abb. 7, Abb. 10). Der Gehalt an Sb ist für die hellrote Farbgebung maßgebend. Der Eisenanteil ist in den Proben von Almadén trotz einer gleichen dunkler roten Farbigkeit nicht immer vorhanden. Innerhalb einer Probe weist die Punktanalyse auf identische Elementverteilung hin, so

dass von einer gleichmäßigen Auskristallisierung im Probenbereich ausgegangen werden kann.

Italien – Toskana

In Italien sind mehrere Fundstellen bekannt, von denen die bekanntesten die Peret Mine in Grosseto, Sisapu und Monte Amiata (Abb. 11) in der südlichen Toskana sind. An Vulkanismus gebunden, liegt Cinnabarit meist als oberflächennahe Imprägnation in ther-

Abb. 13: Elementverteilung - Cinnabarit von Monte Amiata/Toskana.
Fig. 13: Elemental composition - Cinnabar from Monte Amiata.



mal umgewandeltem tonigem Kalkstein und Mergel am Kontaktbereich mit Trachyten vor.

Die Lagerstätten sind prähistorisch. In der Mine San Salvatore in Monte Amiata wurde Cinnabarit schon 400 v. Chr. vor der Römerzeit von den Etruskern abgebaut (Damiani et al. 2003). Ein erneuter Abbau ist ab 1000 n. Chr., sowie ab 1847 in 400 m Tiefe belegt. 1893-1973 wurde hier kein Cinnabarit mehr abgebaut. Quecksilber wurde nur noch aus den Abfällen gewonnen. 1909 betrug die Rohstoffproduktion von Italien 771 Tonnen.

In den Proben kommt Cinnabarit mit geraden Kristallgrenzen oder als „Pflaum“ zusammen mit oft zonar ausgebildetem Glimmer vor (Abb. 12), so dass von nicht einheitlichen Bildungsbedingungen ausgegangen werden kann. Neben Si und Al weisen die Proben viel Ca und Mg auf (Abb. 13).

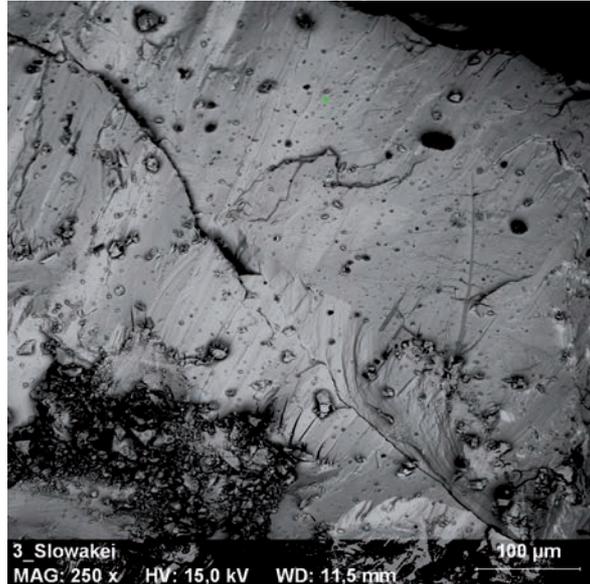


Abb. 14: Oberflächenstruktur - Cinnabarit aus Rudany.
Fig. 14: Structure of the surface - Cinnabar from Rudany.

Slowakei – Rudany, Unter Szlana

Die Erzbildung steht in Zusammenhang mit den tektonischen Verschiebungen, die vor der Schließung des Tethys Meeres stattfanden und sich von den Karpaten im Osten bis nach Idria in den Dinariden von Slowenien im Westen erstrecken.

Über Isotopenanalyse des Schwefels und Flüssigkeitseinschlüssen konnte festgestellt werden, dass sich Cinnabarit in einem oberflächennahen hydrothermalen System bei niedrigen Temperaturen bildete. Die Mineralisation wurde durch basaltische

Abb. 15: Elementverteilung - Cinnabarit aus Rudany.
Fig. 15: Elemental composition - Cinnabar from Rudany.

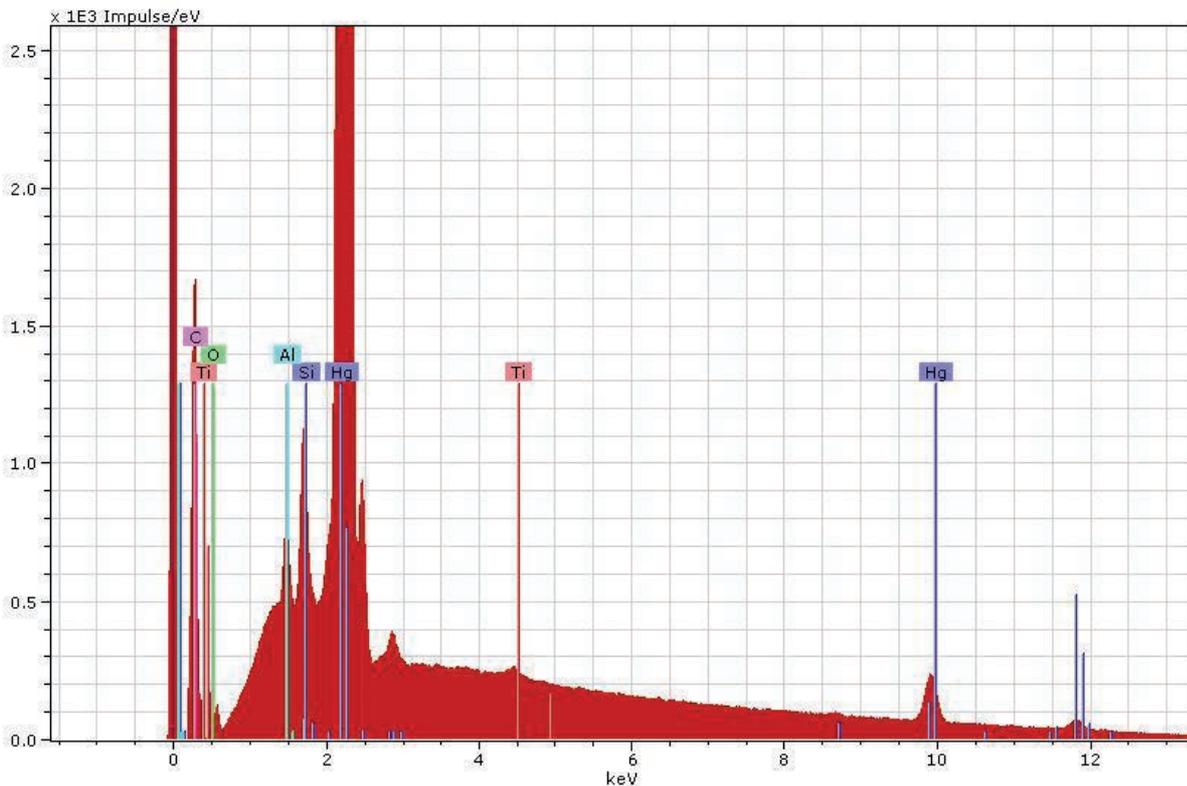




Abb. 16: Cinnabarit von Szybanya.
Fig. 16: Cinnabar from Szybanya.

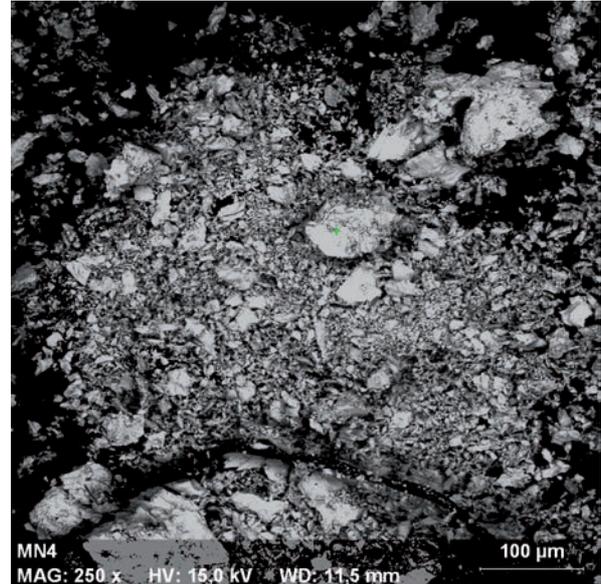


Abb. 18: Oberflächenstruktur - Cinnabarit aus Unter Szlana.
Fig. 18: Structure of the surface - Cinnabar from Lower Szlana.

Intrusionen sekundär angeregt (Quadt et al. 2004) und ist mit remobilisiertem Eisen und weiteren Buntmetallen aus den Sedimenten des Perms bis zum Trias assoziiert. Verunreinigungen mit Quarz finden sich kaum.

Der Bergbau ist in den Karpaten sehr alt. Schon ab dem mittleren Paläolithikum (vor 50.000 Jahren) sind

hier archäologische Funde mit rotem Zinnober aus Gräbern bekannt (Dizdarević 2003, Milošević 1943). Ab dem 16. Jh. ist der Abbau dokumentiert. So wurde 1508 Cinnabarit in Idria durch die Habsburger und 1543 durch die Handelsfamilie Paumgartner gewonnen. Eine Verhüttung der in Ton und Kalkstein auskristallisierten Erze zur Quecksilbergewinnung fand vor Ort statt.

In Transsilvanien, dem heutigen Rumänien (Siebenbürgen) unterhielten die Habsburger ebenfalls den Bergbau. Cinnabarit wurde hier zusammen mit Eisenerzen (Röteln) im Untertageabbau, oder als Flussablagerung gewonnen.

Abb. 17: Cinnabarit aus Unter Szlana.
Fig. 17: Cinnabar from Lower Szlana.



Die Morphologie des Cinnabarits von Rudany weist keine klaren Kristallformen auf, und zeigt zahlreiche Mikrostrukturen wie Risse, Bläschen oder aufgesetzte Neumineralisation (Abb. 14). Neben Si und Al kommt im Erz Ti vor (Abb. 15).

Im ostslowakischen Erzgebirge findet sich Cinnabarit in Szybanya (Abb. 16), sowie in der Kaschau Region von Unter Szlana (Abb. 17), wo es häufig als Flusssediment vorkommt (Vitov & Marinava 2005). In den Proben von Unter Szlana konnte Glimmer als Begleitmineral mikroskopisch identifiziert werden. Die Kristalle des Cinnabarits haben eine ausgeprägt bröselige Form (Abb. 18). Eine Kristallstruktur lässt sich auf Grund der Kleinkörnigkeit nicht erkennen. Neben Si und Al finden sich im Erz Na, Mg und Ti (Abb. 19). Ein Vergleich der Cinnabaritproben der Slowakei weist auf gleichen genetischen Ursprung hin (Abb. 20).

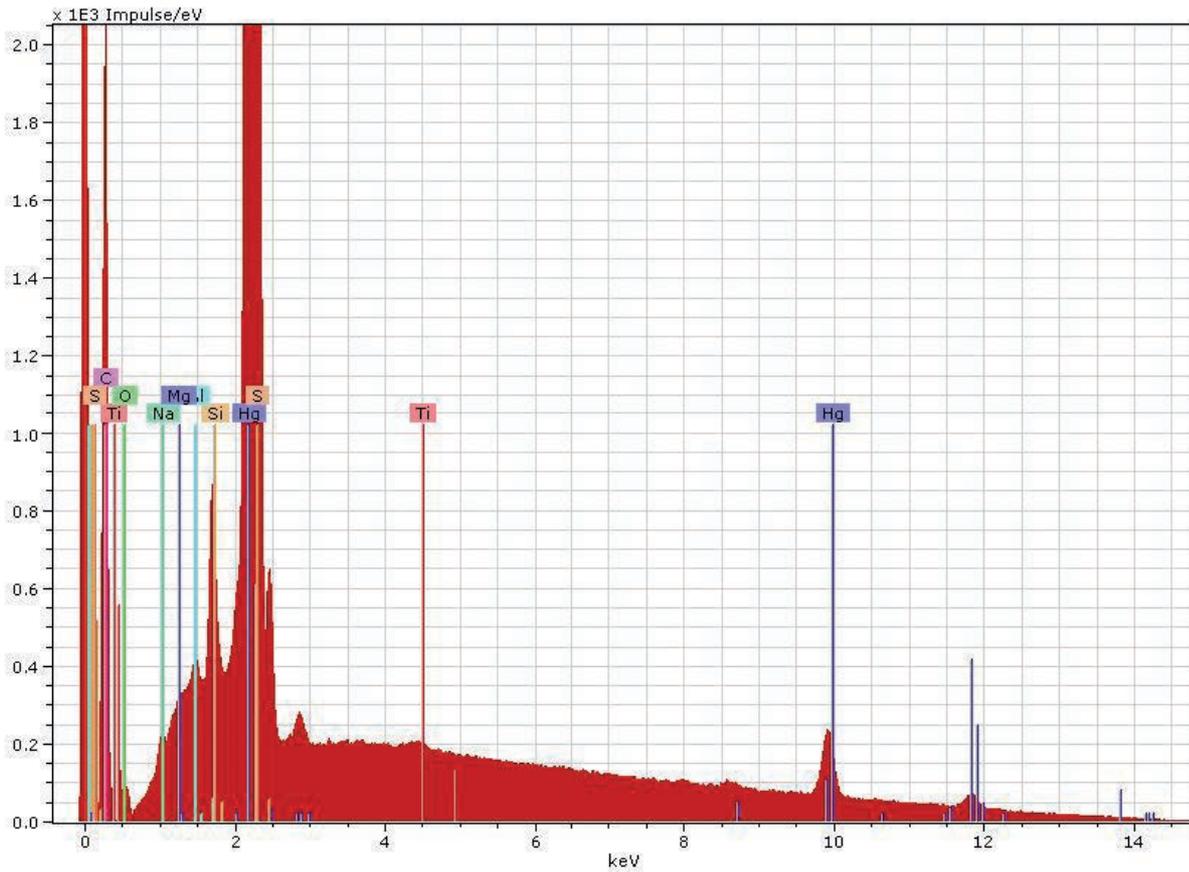
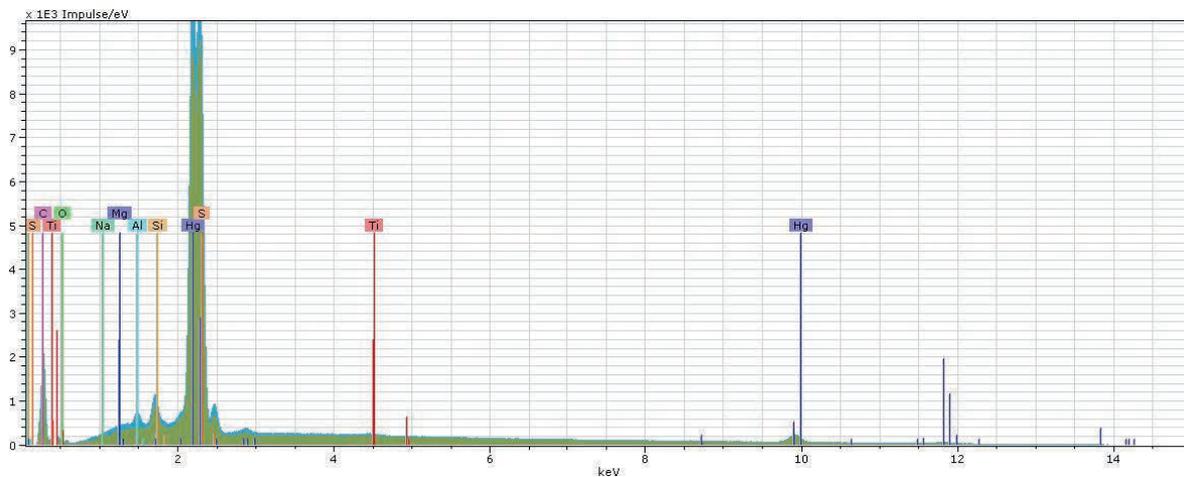


Abb. 19: Elementverteilung - Cinnabarit aus Unter Szlana.
 Fig. 19: Elemental composition - Cinnabar from Lower Szlana.

Abb.20: Vergleich der Elementverteilung - Cinnabarit von Rudany mit Unter Szlana.
 Fig. 20: Comparison of the elemental composition - Cinnabar from Rudany with Lower Szlana.



Ukraine – Nikitovka

Am Rand des präkambrischen ukrainischen Schildes liegen im südlichen Donezbecken reiche Hg-Sb Vorkommen, die sich bei der variszischen Orogenese des Karbons gebildet haben. Zum Teil finden sich die Mineralisationen in kalkhaltigen Quarzsanden des

späten Perm. Die bekannteste Lagerstätte im Donezbecken ist Nikitovka (Nikitovsky oder Lemberg). Zinnober liegt hier als Imprägnation in drei 60 m dicken Sandsteinhorizonten des Karbons vor (Möckel & Frischmann 1992). Von 1885 bis 1995 wurden mehr als 35.000 t Quecksilber gefördert, danach nur noch 20-50 t/Jahr aus Abfällen.



Abb.21: Cinnabarit aus der Ukraine.
Fig. 21: Cinnabar from the Ukraine.

Die Probe aus Nikitovka zeigt einen satten Rotton (Abb. 21). Neben Cinnabarit und Antimonit findet sich an Elementen As, Sb, Fe, Ti, C (Abb. 22). Elemente des Nebengesteins werden nicht identifiziert (Kolesar et al. 1993). Dies weist auf eine eng an den Vulkanismus gebundene primäre Mineralisation im niedrigthermalen Oberflächenbereich hin. Der Antimon Gehalt ist für die Farbigkeit entscheidend.

Mexiko – Durango

Die Lagerstätten Mexikos gehören zur späten Kreidezeit. Sie liegen an der Kontaktzone von frühen mesozoischen Sedimenten und darüber liegenden Vulkaniten. Die hydrothermale Ablagerung von Cinnabarit in den zerklüfteten Karbonaten und Vulkaniten steht in direktem Bezug zu der Iaramischen Orogenese der Oberkreide, die sich bis Alaska erstreckt. In ihr vollzogen sich schubweise blockartige Hebungen des Grundgebirges an bereits vorhandenen Verwerfungen. In östlicher Richtung weist sie zunehmende Alkalinität auf. Verfaltungen fanden nicht statt. Zahlreiche Vorkommen des Cinnabarits finden sich in Guerrero/Querétaro in der Sierra El Doctor, in Guanajuato, Hidalgo, San Luis Potosí/Bramador in der westlichen Sierra Madre, oder in San Ohofrio, wo Cinnabarit neben flüssigen Quecksilber vorliegt und zwischen Calcit auskristallisierte (Langescheidt 1988). Ferner steht Cinnabarit in Sonora, Moctezuma an. In Chihuahua, Sierra de Encillallas, ist die Mina San Miguel bekannt. In Tlaxmalac ist Cinnabarit mit Silberminen assoziiert.

Schon der ersten mexikanischen Hochkultur war Zinnober neben reinem Quecksilber, Silber, Blei und Fluorid bekannt. Im Klassikum (etwa 250-900 n. Chr.) importierten es die Maya vom Hochland aus Guatemala oder Honduras (Moreno 2005). Alexander von Humboldt fand auf seiner Amerikareise im Jahre 1804 in der Cordillere Ost, am Berg südlich von Gasave in der Nähe von Pachuca am Texcocosee viel Cinnabarit. Er berichtet jedoch, dass dieser hier nie bearbeitet wur-

Abb.22: Elementverteilung - Cinnabarit aus Nikitovka.
Fig. 22: Elemental composition - Cinnabar from Nikitovka.

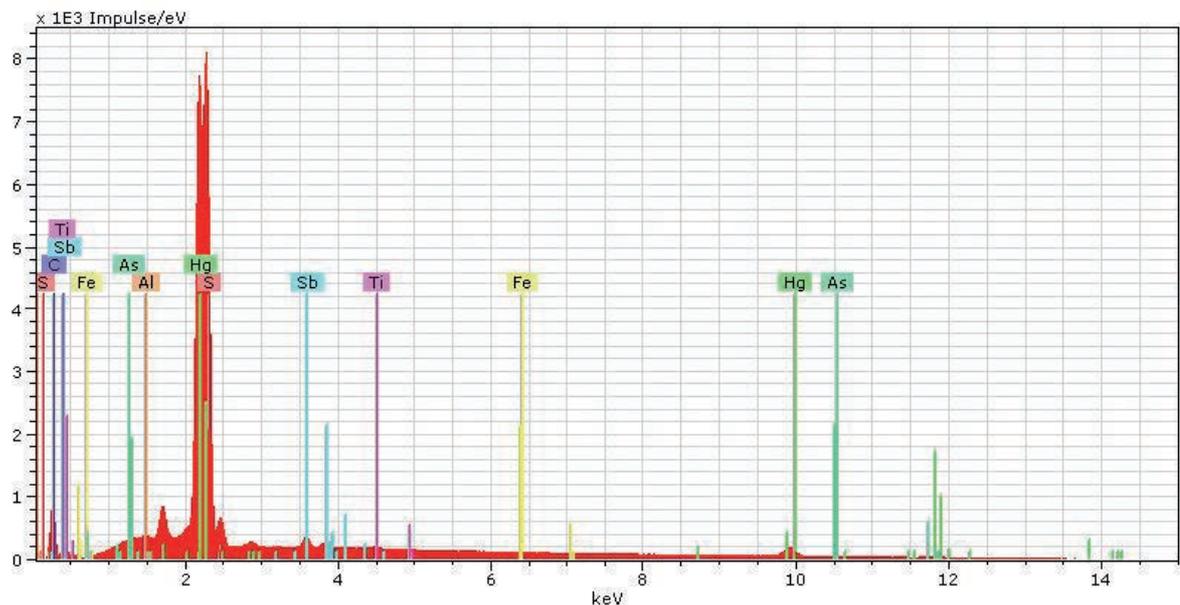




Abb.23: Zinnoberprobe aus Durango/Mexiko.
Fig. 23: Cinnabar from Durango/Mexiko.

de. Überliefert ist, dass 1554 Bartholome de Medina in Pachuca das bekannte Amalgamieren weiterentwickelt hat, aber auch, dass im 16.Jh. viel Quecksilber zur Gewinnung von Edelmetallen aus Spanien importiert wurde (s. o.). Die Lagerstätten sind in Mexiko nicht sehr ergiebig. So betrug die Rohstoffproduktion 1909 und auch 1969 kaum 200 Tonnen.

Die Vorkommen in Durango/Canatlan, Mine Guadalupe Negociación, liegen am Rand der Nordamerikaplatte und sind mit Eisenerzen assoziiert. Mehrere Abfolgen mit Vulkaniten und alkalischen Kalkgesteinen konnten unterschieden werden.

Die Farbe der untersuchten Probe ist dunkel- bis violettrot. Cinnabarit kommt hier zusammen mit Metacinnabarit vor (Abb. 23). Das gleichzeitige Vorhandensein des weniger stabilen schwarzen Metacinnabarits in der Probe weist auf metamorphe Überprägung mit einer Störung des Gleichgewichts oder uneinheitlichen Bedingungen während der Mineralisation hin. Der feinkörnige Cinnabarit ist gut auskristallisiert. Derbe Massen, die auf schnelles Abkühlen hindeuten, liegen nicht vor. Neben Si und Ca wurden in der Probe die Metalle Fe, Ti, Cr, Mn und Zn identifiziert. Als Begleitminerale sind Quarz, Calcit und Glimmer vorhanden. Die Metalle Cr, Mn und Zn weisen auf eine sekundäre Mineralisation in einer basischen Metallprovinz hin. Möglicherweise ist neben der Kristallinität Chrom für die dunkelrote Farbe des Cinnabarits verantwortlich.

Zusammenfassung

Die von verschiedenen Lagerstätten stammenden Proben des Cinnabarits lassen sich an Hand der Farbigeit, der Morphologie und besonders der Elemente und Spurenelemente gut unterscheiden

(Tab. 1). Die Vorkommen bildeten sich zudem in zeitlich sehr weit auseinander liegenden geologischen Provinzen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen somit Merkmale lokaler Bildungsbedingungen für die Mineralisation auf, die hinsichtlich der Herkunft des Zinnobers signifikant sind.

Identifiziert werden kann eindeutig primäre Erzbildung in der Sb- As- Abfolge mit einer in Sandsteinen erfolgten Mineralisation in der Ukraine. Die Kleinkörnigkeit der Imprägnation, sowie der Anteil an Antimon sind für den roten Farbton verantwortlich.

Sekundäre Bildung in Verbindung mit Metallagerstätten (Cu, Fe) liegt in Deutschland/ Pfalz, oder auch in Spanien/Almadén vor. Die teilweise mikrokristalline Morphologie des Cinnabarits aus Deutschland weist auf ein langsames Auskristallisieren hin.

In Spanien erfolgte die Bildung von Cinnabarit in mehreren vulkanisch gestörten Abfolgen und liegt als feinkörnige unterschiedlich ausgebildete Imprägnation vor. Eine Spätmineralisation ist zudem zusammen mit Antimon identifizierbar. Dies zeigt sich auch in ihrer uneinheitlichen Morphologie und Farbigeit. Während der Eisengehalt der Proben keine Auswirkung auf die Farbigeit hat, kann der hellrote Farbton der Probe aus Taragona neben der Feinkörnigkeit auf das Vorhandensein von Antimon zurückzuführen sein. Die Proben aus Italien weisen keine Nähe zu Metallprovinzen auf. Die Mineralisation erfolgte sekundär in einer vulkanisch gestörten Zone als Imprägnation in Sedimentgesteinen zusammen mit Glimmer und scheint noch einmal durch Druck- oder Temperaturänderung überprägt zu sein. Ähnliches gilt für die Proben der Slowakei. Hier kommt Cinnabarit auch als Ablagerung in Flusssedimenten vor.

Die Zinnoberprobe aus Mexiko ist sehr kompakt und liegt zusammen mit Metacinnabarit in metamorphem Quarzit und Calcit. Im Gegensatz zu den Proben der anderen Lagerstätten erfolgte die sekundäre Bildung zusammen mit den Metallen Cr, Mn und Zn. Sie hebt sich auch mit ihrer dunkelroten Farbigeit und Kristallinität von den anderen Proben ab.

In Bezug auf ihr geologisches Alter lassen sich die Proben des Cinnabarits grob in drei Erzeugen unterteilen (Tab. 2).

Zur ältesten gehören die Erze aus Deutschland und Spanien, die jeweils leicht metamorph überprägt und mit Metallagerstätten assoziiert sind. Die Proben aus Deutschland mineralisierten in Buntsandstein, die aus Spanien liegen in einem stärker gestörten sauren Gestein aus Tonschiefer oder Quarzit vor. Die Bildung des Cinnabarits erfolgte hier zu unterschiedlichen Zeiten. Mehrere Mineralisationszyklen zeigen auch eine Verdrängung von Quarz und Stibnit neben Imprägnationen von Sandstein.

Einer jüngeren Mineralisation gehören die Erze aus Italien, Slowenien und der Ukraine an. Während die Erze aus Italien in kalkigen Sedimenten vorkommen,

Tab. 1: Neben Quecksilber und Schwefel identifizierte Elemente der Zinnoberproben.
 Tab. 1: Elements identified beside mercury and sulfur in the samples of cinnabar.

Herkunft	Lagerstätte	Probe	ESEM	ArtTAX
Deutschland/ Pfalz				
	Stahlberg	BG-3	Si, Al, Fe,(Mg, Rh,Ti)	
	Wolfstein	MN-1	Si, Al, Fe,Ti (Mg, Na, Cu)	
	Wolfstein	MN-2	Si, Al, K, Ba, Ca, Cu, Fe	Fe, Ca, Sr (Rb)
Spanien				
	Berri/Taragona	BG-6	Si, Al, Mg, K, Cl, Fe, Cu, Sb	
	Almadén	TU-1	Si, Al, (Ca, Mg, Ti)	
	Almadén Mine Entredicho	RE-1	Si, Al (Na, Mg, Ti, Fe)	
	Almadén Mine Entredicho	RE-2	Si, Al (K, Mg, Ti, Fe)	
	Almadén Mine Entredicho	RE-3	Si, Al (K, Mg, Ti)	
Italien/ Toskana				
	Monte Amiata	BG-4	Si, Al, Ca, Mg, K, P?	Ca, Sr (Fe), U,
	Monte Amiata	MN-3	Si, Al, Ca, Mg (K, Ti)	
	Cerreto/ Piono	TUM2	Si, Al, Ca, Mg, K, Na (Fe)	
Slowakei				
	Ruduany	TUM3	Si, Al, Ti	
	Unter- Szlana	MN-4	Si (Al, Ti, Na, Mg)	
Ukraine				
	Nikitovka	TUM1	As, Sb (2 μ rund auf HgS), Ti, Fe, C	
Mexiko/ Durango				
	Guadalupe Negociación	BG-5	ArtTAX: Cinnabarit mit Si, Fe, Cr (Ti, Ca), Quarz mit Mn, Ti, Ca, K, Zn. Metacinnabarit mit Si, Ca (K, Fe, Mn, Ti)	

liegen die aus Slowenien in sauren Sedimenten. An Vulkanismus gebunden, wurden sie von diesem sekundär mobilisiert und kristallisierten neu aus. Die Mineralisation der Probe aus der Ukraine erfolgte demgegenüber primär in Verbindung mit der magmatischen Abfolge als hydrothermale oberflächennahe Imprägnation in Sedimentgesteinen. Die geologische Provinz der zu dieser Mineralisation gehörenden Erze ist tektonisch wenig überprägt. Die Erzgenese in Mexiko ist die jüngste. Sie fand in Verbindung mit einer basischen Metallprovinz unter kontaktmetamorphen nicht oberflächennahen Bedingungen statt. Die Morphologie der Probe zeigt dies deutlich. Von daher lässt sich diese Art des Cinnabarits sehr gut von den anderen unterscheiden.

Abstract

The samples of cinnabar from different deposits can be distinguished very well by color, morphology and above all by the determination of elements and trace-elements (Tab. 1). In addition to that the deposits were formed at different geological epochs.

The results of the analysis thus show characteristics for local conditions during the mineralization, being significant in regard to the origin of cinnabar. Clearly identified can be primary ore formation in the Sb-As sequence with a mineralization of cinnabar in sandstone in the Ukraine. The small grains of the impregnation as well as the presence of antimony are responsible for the red coloration of the sample. As secondary ore formation associated with metals (Cu, Fe) are classified the samples from Germany/Pfalz and also from Spain/Almadén. The cinnabar from Germany shows a partly microcrystalline morphology, which is a hint for better conditions during the mineralization. In Spain the formation of cinnabar took place in volcanic disturbed sequences as fine grained impregnations. Further on a late mineralization with antimony is identified. This is also reflected in the differently developed morphology and color. While the content of iron has no effect on the coloration, the light red of the sample from Taragona can be due to the small grains and the presence of antimony. The samples from Italy are not associated to a metal province. The secondary mineralization took place in a volcanic disturbed environment as sedimentation

Tab. 2: Geologische Unterscheidung der Zinnerlagerstätten.
Tab. 2: Geological differentiation of the deposits of cinnabar.

Vorkommen	Orogenese	Herkunft, Zeit vor Ma	Erzbildung	Nebengestein
Deutschland	Nockgebiet mit Altkristallin, hercynisch	Ordovicium 488 Devon bis Perm Karbon 359	sekundär hydrothermal	Buntsandstein, Fe, Cu, Ba
Spanien	kaledonisch variszisch	Ordovicium 488 und Silur 460 Devon 416	sekundär hydrothermal Verdrängung	Quarzit, Cu, Sb Tonschiefer, Fe Sandstein
Italien	Variszisch	Perm 299 bis Trias 270	sekundäre Imprägnation	Mergel, Ton, Kalkstein, mit Trachyten
Slowakei	Variszisch	Perm 299 bis Trias 270	sekundär hydrothermal	Sedimente, mit Basalten
Ukraine	Variszisch	Karbon 359 bis Perm 299	primär hydrothermal	kalkhaltiger Sandstein, As, Sb
Mexiko	Laramisch	Mesozoikum 251 bis 145 Kreide 145	sekundär kontaktmetamorph an vorhandenen Verwerfungen	Sedimente, Fe, Mn, Zn, Cr, Karbonate, mit Vulkaniten

together with mica, and seems to be shaped once again by changes of pressure or temperature. This is similar to the samples from Slovakia. Here cinnabar is found in sediments together with mica, but also as river sedimentation.

The sample of cinnabar from Mexico is very compact and lies together with metacinnabar in metamorphic quartzite and calcite. Contrary to the samples of the other deposits, the secondary formation took place in association with the metals Cr, Mn and Zn. In contrast to the other samples is also the dark red coloration and the crystallinity.

In relation to the geological age the samples of cinnabar can be differentiated roughly into three metallogenic epochs (Tab. 2).

To the oldest epoch belong the ores from Germany and Spain, which are lying in a lightly metamorphic matrix of sandstone, associated to deposits of metals.

The samples from Spain however are lying in more disturbed acid rocks consisting also out of argillaceous shale or quartzite. Observed is also impregnation of sandstone and displacement of quartzite and stibnite. Mineralization took place at different times and is found as late and as secondary mineralization in several cycles.

The ores from Italy, Slovakia and the Ukraine belong to a younger mineralization. While the cinnabar from Italy is associated to limy sediments, that from Slovakia is associated to acid sediments. Bound to volcanic activity, they were mobilized secondary and crystallized again. Compared with this, the mineralization of the sample from the Ukraine is part of the magmatic sequence and took place as primary hydrothermal impregnation near the surface in sedimentary rocks.

The geological province of the ores belonging to this mineralization is tectonically marginally disturbed.

The ores from Mexico belong to the youngest metallogenic epoch. Mineralization took place in association with an alkaline metal province under contact-metamorphic conditions, not near the surface. This is reflected in the morphology of the sample. Thus this kind of cinnabar can be differentiated very well from the others.

Danksagung

Ohne die Leihgaben des Probenmaterials aus mineralogischen Sammlungen wäre die Arbeit nicht realisierbar gewesen. Danken möchte ich von daher besonders

Herrn Prof. Higuera und Herrn Dr. Esprit, Bergbauschule Almadén, Spanien. Herrn Dr. Schmitt, HU Berlin, Museum für Naturkunde. Frau Dr. Herting-Agthe, TU Berlin, Institut für angewandte Geowissenschaften. Frau Dr. Ehling, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin. Herrn Dr. Lehrberger, TU München, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie. Die Messungen wurden im Rathgen-Forschungslabor der Staatlichen Museen Berlin durchgeführt. Herrn Prof. Simon, Frau Schwertfeger und Frau Pauswein sei hier besonderer Dank erwiesen.

Literatur

- Agricola, G. (1556): *De Re Metallica*, Libri XII, Nachdruck 2006.
- Bethencourt, A. de (1935): *Memoirs of the royal mines of Almadén*. El Minero, Cottbus.
- Crawford, J.W. (1988): Famous mineral localities: the Almaden mines, Ciudad Real, Spain. *Mineral Record* 19 (5), 297-302.
- Damiani, D., Gliozzo, E., Memmi Turbanti, I. & Spangenberg, J.E. (2003): Pigments and plasters discovered in the house of Diana (Cosa Grossteo, Italy): An integrated study between art history, archaeology and scientific analyses. *Archaeometry* 45/2, 341-354.
- Dizdarević, T. (2003): Proceedings 6th International Symposium Cultural Heritage in Geosciences, Mining, Metallurgy. Libraries- Archives- Museums, June 17- 21 2002, Idrija, Slovenia.
- Domergue, C. (1990): *Les mines de la péninsule ibérique dans l'antiquité romaine*. École française de Rome, Rome.
- Giesemann, A., Jaeger, H.-J., Norman, A.L., Krouse, H.R. & Brand, W.A. (1994): On-line sulphur isotope determination using an elemental analyser coupled to a mass spectrometer. *Analytical Chemistry* 66, 2816-2819.
- Hauptmann, A. & Slotta, R. (1979): Zu den Denkmälern des Quecksilberbergbaus von Almadén. *Der Anschnitt* 31, 81-100.
- Higuera, P., Oyaten, R. & Marata, D. (1999a): The largest mercury anomaly on earth (Almadén/Spain): a mantle derived feature?, *Geogaceta* 25, 103-105.
- Higuera, P., Saupé, F. & Tena, J.C. (1999b): Episodios de mineralización únicos en las yacimientos epignéticos de mercurio de Almadén: evidencias isotópicas en el yacimiento Las Cuevas, *Geogaceta* 25, 107-110.
- Hoppensack, J.M. (1796): *Über den Bergbau in Spanien überhaupt und den Quecksilberbergbau zu Almadén insbesondere*. Weimar, 27.
- Jurković, J. van (1996): Rudarsko-Cinnabarit isotope in Bosnien. *Geolosko-Naftini Zbornik* 8 (1).
- Kelly, J.E. (1945): The history of Spanish Quicksilver. *Mining Journal* 29 (14), 8-9.
- Kolesar, P., Brekler, V., Tvrđy, J. & Vary, K. (1993): Süd-kirgisien, Quecksilber-Antimon-Lagerstätten und ihre Mineralien. *Lapis* 18 (11), 11-24.
- Langescheidt, A. (1988): Bosquejo histórico del azogue y del cinabrio en Mexico. *Chupio México* 1, 69-84.
- Milojčić, V. (1943): Das vorgeschichtliche Bergwerk Suplja Stena am Avalberg bei Belgrad, Serbien. *Wiener Prähistorische Zeitschrift* 30, 41- 54.
- Möckel, S. & Frischmann, N. (1992): Mineralien der Quecksilberlagerstätte Nikitovka in der Ukraine. *Mineralien-Welt* 3, 14-15.
- Moreno, G.R. (2005): *Les sépultures royales de Calakmul, Mexico*. PhD Archaeology, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris.
- Neumann, B. (1921): Zur Geschichte der Quecksilbergewinnung. *Angewandte Chemie* 34, 9. April 1921, 161-164.
- Pontes, D.J.M. (1900): *Historia de la antigua ciudad de Sisapon hoy Almadén del Azogue*.
- Quadt, A. v., Driesner, T. & Heinrich, C.A. (2004): Geodynamics and Ore Deposit Evolution of the Alpine-Carpathian-Balkan-Dinaride Orogenic System. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 84, 1-2.
- Resenberg, L. (2005): Cinnabarit- zurück zu den Quellen- Cinnabarit im Spiegel von Apothekerpreislisten. *Siegl, München*, 115 S.
- Saupé, F. (1990): Geology of the Almadén mercury deposit, province of Ciudad Real, Spain. *Econ. Geol.* 85, 482-510.
- Saupé, F. & Arnold, M. (1992): Sulphur isotope geochemistry of the ores and country rocks at the Almadén mercury deposit, Ciudad Real, Spain. *Geochimica Acta* 56, 3765-3780.
- Smith, C.N., Klaue, B., Kesler, S.E., Blum, J.D. & Vikre, P.G. (2003): Natural variation of mercury isotopes in hydrothermal ore deposits determined by multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometer. In: *Advances in Analytical Techniques and New Approaches to the Study of Ore Deposits*, Geological Society of America, Seattle Annual Meeting Nov 2-5 2003, 35 (6), 357.

- Spangenberg, J.E., Meisser, N., Serneels, V., Fuchs, M. & Thélin, P. (2000): Can sulphur isotopes serve to track the origin of archaeological painting? In: European society for isotope research, V Isotope workshop, 1.- 6. july 2000, Kraków, Poland, Book of abstracts, 192-205.
- Spangenberg, J.E. & Lavri, J.V. (2003): Isotops of the Idrija mercury deposit, Lausanne.
- Stelzner, A.W. (1903-1906): Die Erzlagerstätten, Leipzig, 889-918.
- Tamain, G. (1971): Recherches géologiques et minières en Sierra Morena oriental. Dissertation Paris.
- Varekamp J.C. & Buseck P.R. (1984): The Speciation of Mercury in Hydrothermal Systems, with Applications to Ore Deposition. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 48, 177-185.
- Vitov, O. & Marinava, I. (2005): Distribution of Cinnabar (HgS) in alluvial sediments in Bulgaria. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*.

Autor

Dr. Renate Nöller
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Unter den Eichen 44-46
D-12203 Berlin
renate.noeller@bam.de

metallum, i, n:
Grube, Bergwerk (oft pl.)
Metall, auch Gestein, Mineral

μεταλλον, το:
Grube, Stollen;
bsd. a) Bergwerk (meist pl.)
b) Steinbruch

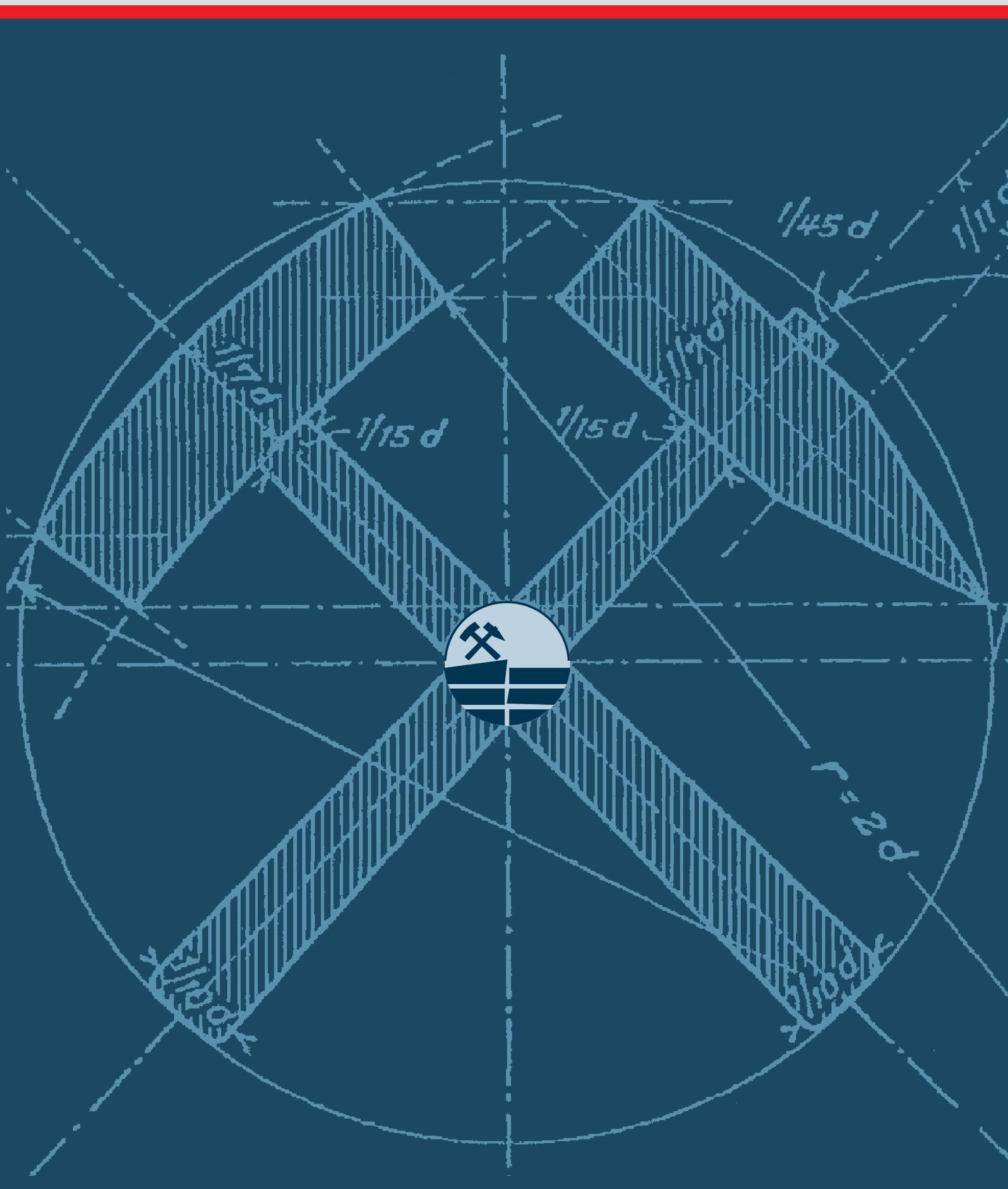


Inhalt/Contents

Seite

A. Abdel-Motelib, M. Bode, R. Hartmann, U. Hartung, A. Hauptmann & K. Pfeiffer <i>Archaeometallurgical expeditions to the Sinai Peninsula and the Eastern Desert of Egypt (2006, 2008)</i>	<i>3</i>
R. Nöller <i>Zinnoberlagerstätten im Vergleich - Auswahl historisch bedeutender Vorkommen</i>	<i>61</i>

METALLA



METALLA (Bochum)

erscheint in zwei Heften bzw. einem Doppelheft jährlich.

Bezugspreis € 25,- pro Jahr inkl. Porto und Verpackung, Bestellungen formlos an das Deutsche Bergbau-Museum Bochum
Am Bergbaumuseum 28
D-44791 Bochum

Wissenschaftliche Beratung:

Prof. Dr. G. Eggert, Stuttgart
Dr. St. Fritz, Berlin
Prof. Dr. A. Hauptmann, Bochum
Dr. L. Klappauf, Goslar
Prof. Dr. H. Leisen, Köln
Dr. B. Ottaway, Sheffield
Prof. Dr. Th. Rehren, London
PD Dr. G. Schneider, Berlin
Prof. Dr. Ü. Yalçın, Bochum

Impressum*Herausgeber:*

Deutsches Bergbau-Museum Bochum
Museumsdirektor: Dr. Stefan Brüggerhoff

Schriftleiter:

Dr. Michael Prange

Layout/Titelgestaltung:

Dr. Michael Prange
Dipl. Ing. Angelika Friedrich

Druck und Verarbeitung:

WAZ-Druck, Duisburg

ISSN 0947-6229