

Der Arsenbergbau Zuckenhut / Straßegg (Breitenau / Gasen, Steiermark, Österreich) – Archäologische und mineralogische Untersuchungen zur Herstellung von künstlichen Arsensulfiden

Daniel MODL, Graz / Günter GRUNDMANN, Detmold / Hans-Peter BOJAR, Graz

Einleitung

Seit dem späten Mittelalter gehörte das Herzogtum Steiermark zu den wichtigsten Produzenten von Arsenik (Arsen[III]-oxid, As_2O_3) in Mitteleuropa.¹ Der überwiegende Teil der Produktion war für die Glaserzeugung in Venedig bzw. für den Export in den Mittelmeerraum und den Nahen Osten bestimmt. Arsenik entstand durch die Röstung von arsenhaltigen Erzen in Flammöfen, wobei die aufsteigenden Arsendämpfe in langgestreckten, teils abgewinkelten Kanälen (Giftfang) resublimierten (Abb. 1).²



Abb. 1: Schmelzofen zur Arsenikgewinnung und Blaufarbenerzeugung mit gewinkeltm Kondensationskanal sowie Hütte mit Sublimationskesseln zur Reinigung des Arsensulfids bzw. der Herstellung von Arsensulfiden, vermutlich vom Maler Johann Weiß, um 1780, Öl auf Leinwand, ca. 50,5 x 72,5 cm. Quelle: Salzburg Museum, Inv.-Nr. 560 i-49.

Der dabei entstandene gräuliche Flugstaub wurde im Anschluss durch Sublimation zu einer weißgläsernen, feinkristallinen Masse raffiniert, die im Volksmund auch „Hüttenrauch“ (Hidrach, Hittrach, Hüttrach) genannt wurde. Legendär ist die Verwendung von Arsenik als Gift, aber auch als Rausch- und Dopingmittel, wie dies das Phänomen der „Arsenikesser“ in den Alpenländern und hier besonders in der Steiermark eindrucksvoll zeigt.³

Wenig bekannt und relativ unerforscht ist dagegen der Umstand, dass während der späten Neuzeit neben dem reinen Arsenik auch gelbe und rote Arsensulfide in der Steiermark künstlich hergestellt wurden, die unter der Bezeichnung „Auripigment, Rauschgelb/Operment, Gelbglas“ und „Realgar, Rauschrot, Rotglas“ in den Handel kamen. Außer gewöhnliche Einblicke in deren Produktion erlaubten vor 15 Jahren Ausgrabungen des Bundesdenkmalamtes und des Universalmuseums Joanneum im einstmalig bedeuteten Bergbauggebiet „Zuckenhut“ im Tal der Breitenau (Abb. 2). Mit der Freilegung eines Sublimationsofens und eines Holzbeckens nördlich der Passhöhe Straßegg gelang es erstmals, zwei historische Anlagen zur Erzeugung und Reinigung von Arsensulfiden im Ostalpenraum archäologisch zu untersuchen und einzigartiges Probenmaterial aus der trockenen (Sublimieren/Schmelzen) und nasschemischen Gewinnung (Fällung) dieser Hüttenprodukte zu bergen.⁴

Unabhängig von den archäologischen Forschungen am Straßegg im Jahre 2007 untersuchte zeitgleich ein interdisziplinäres Forscherteam an der Technischen Universität München die Verwendung von künstlichen Arsensulfid-Pigmenten in der mitteleuropäischen Malerei und Polychromie, darunter in den Werken Rembrandts (1606 – 1669).⁵ Durch das neue Probenmaterial aus der steirischen Fundstelle und die Entdeckung historischer Arsensulfidgläser in den mineralogischen Sammlungen des Universalmuseums Joanneum in Graz und des Benediktinerstiftes Admont (Abb. 3) war es in einer Kooperation zwischen Graz und München möglich, neue



Abb. 2: Blick auf das Straßegg gegen Nordwesten; der Pfeil markiert die Position der Grabungsflächen von 2007. Foto: D. Modl.

Einblicke in Farbe, Gefüge, Stoffbestand und die chemische Zusammensetzung künstlich erzeugter Arsensulfide zu gewinnen.⁶



Abb. 3: Historische Arsensulfidgläser, u. a. aus Muldenhütten bei Freiberg (1) und der Walchen bei Öblarn bei Öblarn (6–9), der mineralogischen Sammlung des Universalmuseums Joanneum in Graz (1–2, 6–9) und der Gesteins- und Mineraliensammlung des Naturhistorischen Museums im Benediktinerstift Admont (3–5). Foto: D. Modl.

Künstliche Arsensulfide

Die natürlichen Minerale Auripigment (Arsen[III]-sulfid, As_2S_3) und Realgar (Arsen[II]-sulfid, As_4S_4) gehören zu einer Gruppe von Sulfiden mit nichtmetallischem Charakter. Aufgrund ihrer Farbintensität und Leuchtkraft waren beide Arsensulfide über fünf Jahrtausende hoch begehrte Pigmente, die in der Malerei und Kosmetik, aber auch in der Medizin und Haarentfernung eingesetzt wurden.⁷ Die beiden Naturminerale besaßen jedoch auch Nachteile. Neben ihrer Toxizität und dem vom Schwefel kommenden unangenehmen Geruch, ergaben sich Schwierigkeiten in der Verarbeitung und Haltbarkeit. Aufgrund seiner glimmerartig-zähen Konsistenz und häufigen Verwachsungen mit Realgar war das goldgelbe Auripigment schwierig aufzubereiten. Zudem wandelte sich der glasartig spröde Realgar an der Luft unter Lichteinwirkung in das orange-gelbe Zerfallsprodukt Pararealgar (As_4S_4) um. Aus diesem Grund wurde nachweislich seit der frühen Renaissance versucht, die Naturminerale durch gleichwertige homogene und lichtstabile Kunstprodukte zu ersetzen, die auf Grund von „Verunreinigungen“ mit Arsenik auch giftiger waren als das natürliche Produkt.

Mit der Industriellen Revolution zur Mitte des 18. Jahrhunderts stieg auch der Bedarf nach künstlichen Arsensulfiden sprunghaft an, da sie in unterschiedlichen Arbeits- und Produktionsbereichen benötigt wurden. Neben der schon erwähnten Verwendung als gelbes oder rotes Farbpigment in der Malerei⁸ wurden die beiden Kunstprodukte auch für die Herstellung von Schutzanstrichen für Schiffs-

böden genutzt.⁹ Weiters dienten sie in der Feuerwerkerei für bengalische Weißfeuer,¹⁰ im Bleiguss zur Herstellung von Gewehr- und Schrotkugeln,¹¹ in der Gerberei als Enthaarungsmittel¹² und in der Stoffdruckerei als Lösungsmittel für Indigo.¹³

Wie zahlreiche Einträge in Lexika sowie in chemischen und hüttenkundlichen Handbüchern zeigen,¹⁴ beruhte die Gewinnung der beiden künstlichen Arsensulfide im Wesentlichen darauf, dass Arsen und Schwefel bzw. ihre Verbindungen im jeweils passenden Verhältnis miteinander bei hohen Temperaturen durch Sublimation vereinigt wurden. Im Fall des künstlichen Realgars erfolgte die Herstellung primär durch Erhitzung und Sublimation eines Gemenges aus Arsenopyrit (Arsenkies) und Schwefel bzw. Pyrit (Schwefelkies) in Tonrohren mit eisernen Vorlagen (Abb. 4 und 5). Das künstliche Auripigment wurde dagegen in geschlossenen Kesseln aus Arsenikpulver bzw. arseniger Säure (in Wasser gelöstes Arsen[III]-oxid, H_3AsO_3) oder weißem Arsenglas und gemahl-nem Schwefel hergestellt. Das so gewonnene Sublimat war in beiden Fällen noch verunreinigt und relativ inhomogen zusammengesetzt, sodass es unter Zusatz von weiterem Schwefel in eisernen Pfannen oder Kesseln eingeschmolzen und geläutert wurde.

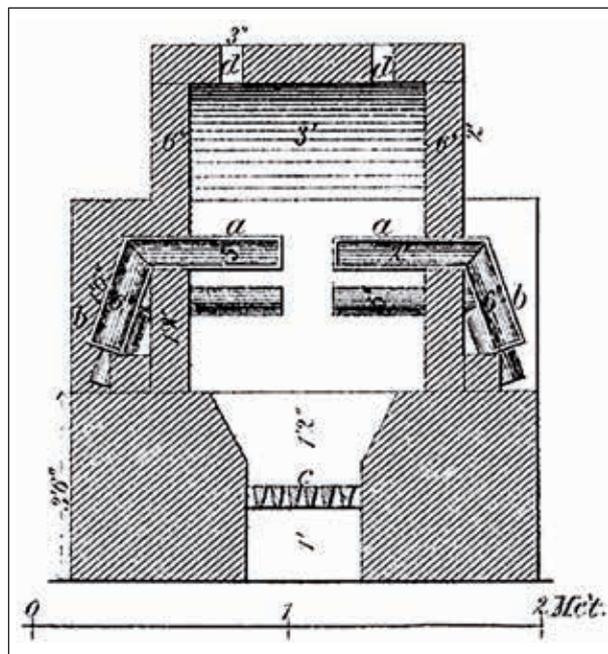


Abb. 5: Querschnitt durch die mit Tonröhren bestückte Brennkammer eines Galeerenofens für die Erzeugung von künstlichen Arsensulfiden, vor 1865 (Quelle: KERL 1865, wie Anm. 14, Taf. XII/310).

Das Produkt des Reinigungsprozesses waren glasartige Schmelzkuchen („Gelbglas“, „Rotglas“) oder Pulver („Königsgelb“, „Rauschrot“). Wichtig für die

Farbgebung der beiden Kunstprodukte war der Anteil des Schwefels, der im Fall des künstlichen Realgars bei ungefähr 25 % bis 35 % und beim künstlichen Auripigment zwischen 2 % bis 10 % lag.

Neben den trockenen Gewinnungsprozessen existierte zur Bildung von künstlichem Auripigment (As_2S_3) auch noch ein nasses Fällungsverfahren, bei dem Arsenik (As_2O_3) zu einer Lösung aus Salzsäure (HCl) und Schwefelwasserstoff (H_2S) hinzugegeben wurde. Das so gewonnene pulvrige Kunstprodukt war aber nicht direkt verwendbar, sondern wurde durch Subli-



Abb. 4: Sublimation von künstlichen Arsensulfiden in Tonröhren und eisernen Retorten in der Arsenikhütte von Reichenstein (heute Złoty Stok in Polen), vor 1908. Quelle: KRAEMER 1908/09, wie Anm. 24, 171.

mation mit Arsenik und anschließendem Schmelzen zu einem gelben oder roten Arsenglas verarbeitet.

In der zweiten Hälfte des 19. und am Anfang des 20. Jahrhunderts wurde der mitteleuropäische Arsenmarkt von zwei Produktionsorten dominiert, die beide künstliche Arsensulfide herstellten: das schlesische Reichenstein (heute Złoty Stok in Polen) und das deutsche Muldenhütten bei Freiberg. Unter dieser Konkurrenz hatte auch die größte Arsenikhütte der Habsburgermonarchie in Rothgülden im Lungau (Salzburg) zu leiden, die mangels Rentabilität bereits im Jahre 1884 stillgelegt wurde. In den Jahrzehnten zuvor wurde hier auch künstliches Auripigment und Realgar hergestellt, wie Berichte¹⁵ und Preisverzeichnisse zeigen (Abb. 6).

Vergleichbare Text- und Archivquellen sind für die Steiermark bislang noch nicht erschlossen worden. Dass im 19. Jahrhundert aber eine lokale Produktion von Arsensulfiden bestanden hat, davon zeu-

gen beispielsweise vier Stücke von künstlichem Realgar aus der Walchen bei Öblarn, die sich in der mineralogischen Sammlung des Universalmuseums Joanneum erhalten haben (Abb. 3/6-9). Laut beiliegender Notizen wurden die Stücke im Jahre 1837 aus „Arsenkies“ gewonnen. Der hohe Arsengehalt der sulfidischen Erze aus der Walchen ermöglichte es, im Rahmen der Schwefelproduktion auch Arsensulfide zu produzieren, die unter der Bezeichnung „roter Schwefel“ auf den Markt gebracht wurden.¹⁶

Die Bekanntheit und weite Verbreitung der künstlichen Arsensulfide in der steirischen Bevölkerung bezeugt auch der Umstand, dass um 1900 dreiviertel der Vergiftungsfälle in der Steiermark auf den synthetischen „gelben Arsenik“ zurückzuführen waren.¹⁷ Eine mögliche Ursprungsquelle wäre das Bergbauggebiet „Zuckenhut“ am Straßegg, wo durch archäologische Ausgrabungen die Produktion von gelben und roten Arsensulfiden bis um 1900 zu vermuten ist.

Lage und Bergbaugeschichte

Der ehemalige Arsen-Gold-Silberbergbau Zuckenhut befindet sich auf einer Seehöhe zwischen ca. 1000 und 1200 m im Bereich zwischen Zuckenhutgraben, nördlich der Pashöhe Straßegg (Gemeinde Breitenau am Hochlantsch) und der Nordseite des Pramerkogels (Gemeinde Gasen). Die bergbaulichen Spuren erstrecken sich in Richtung NNW – SSO auf einer Länge von ca. 1,8 km und sind auf einer Breite von rund 200 bis 300 m im Gelände nachweisbar. Zahlreiche dichtgereichte Einbruchspingen, Abraumhalden und meist verbrochene Stollen mit ihren Mundlöchern (Abb. 7) zeugen von einer Bergbautätigkeit auf Arsenopyrit, Galenit und Pyrit, die ihren historisch gesicherten Beginn im 15. Jahrhundert nahm (Abb. 8).¹⁸

Die schnell wachsende Bedeutung des Bergbaugebiets wird aus der Maximilianischen Bergordnung von 1517 ersichtlich, wonach das Revier einem eigenen Berggericht unterstellt war, das auch die ganze Mittel- und ehemalige Untersteiermark umfasste. In der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts erlebte auch die Arsenikproduktion am Straßegg unter den bekannten Gewerken- und Händlerfamilien Kornmesser (Kornmeß) und Murer (Muerer) aus Bruck an der Mur ihren Höhepunkt, die auch das Monopol des Hüttenrauchhandels mit Venedig besaßen. Über

ALLOIS SILBER,
Königliche Berg- und Hüttenwerke
ROTHGÜLDEN,
Salzburg, 1. November 1869.

BIBLIOTHEK D. STAATL. MUSEUM SALZBURG

Preis-Verzeichniß
der Erzeugnisse des
Arsenik- Berg- und Hüttenwerkes Rothgülden.
HAUPT-DEPOT bei ALLOIS SILBER.

Preise in öherr. Währung Banknoten Netto pr. constant 100 Pfd.
Zoll-Gewicht ab Wagnis.

		fl.	kr.
G	Arsenik gelb $\frac{1}{2}$	8	50
"	do. do. ppt.	9	50
R A	do. roth $\frac{1}{2}$	16	—
"	do. do. ppt.	17	—
W	do. do. weiß Glas $\frac{1}{2}$	9	—
R	Kaffinadmehl (Arsenik weiß ppt.)	9	50
F	Fliegenlein	17	50
M	Kohmehl (verläufiges)	5	80

Offen entsprechend höher.

Ueberschlag kommt nur auf Seckelungen und wird pr. Stück mit 50 kr. berechnet.

Josef W. K. Schneider in Salzburg

70

Abb. 6: Preisverzeichnis für die Produkte aus der Arsenikhütte Rothgülden mit „Arsenik gelbroth“, 1. November 1869. Quelle: Salzburg Museum, Inv.-Nr. BIB PLA 8957.



Abb 7: Einer der wenigen noch zugänglichen handgeschrämmten Stollen am Straßegg, Februar 2022. Foto. H.-P. Bojar.



Abb. 8: Arsenopyrit (UMJ, Slg. Mineralogie, Inv.-Nr. 23.228). Foto: UMJ/N. Lackner.

die genaue Lage und Bauweise der Sublimieranlagen am Straßegg und die damals erzeugten Arsenikmengen liegen jedoch keine Informationen vor.

In der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts kommt es unter der Familie Kleindienst aus Wachsenegg zu einem deutlichen Abschwung der Arsenikproduktion am Straßegg. Immerhin liegen aus dem Jahr 1556 mit dem „Sambkost Puech des Bergwerch am Zuckenhuett“ erstmals Betriebsaufzeichnungen vor, die Erzmengen und Lohnangaben liefern. Die groß-

angelegte Hüttenrauchproduktion am Straßegg wurde aufgrund von Handelskrisen und heimischer bzw. ausländischer Konkurrenz zusehends defizitär und fand wohl am Ende des 16. Jahrhunderts ihr vorläufiges Ende, da in den Berichten der Verhandlungen der Innerösterreichischen Hofkammer zu dieser Zeit der Zuckenhut nicht mehr Erwähnung findet. Die Tradition der Arsenikproduktion dürfte in diesem Gebiet aber bis in das 19. Jahrhundert weiterbestanden haben, wie möglicherweise arseninduzierte Todesfälle in der Pfarre Gasen, eine für Mitterbach/Gasen überlieferte „Gifthütte“ und vor allem die archäologischen Grabungen am Straßegg nahelegen.

Geologie und Mineralogie

Die Arsenopyrit-Vererzung am Straßegg ist an Quarz-Karbonatgänge in basischen Metavulkaniten (Grünschiefer) gebunden. Diese Trägergesteine sind geologisch gesehen Teil der tiefsten

Decke des Grazer Paläozoikums, einem nördlich von Graz gelegenen Mittelgebirge.

Das Grazer Paläozoikum (Abb. 9) ist ein Deckenstapel des Oberostalpinen Deckenkomplexes am Südostrand der Alpen. Es hat einen tektonischen Kontakt zu den tiefer liegenden und höher metamorphen Einheiten der Koralpe im Westen, der Gleinalm im Nordwesten und den Gesteinen des Raabalpen-Kristallins und des Radegunder-Kristallins im Osten. Im Süden ist das Grazer Paläozoikum

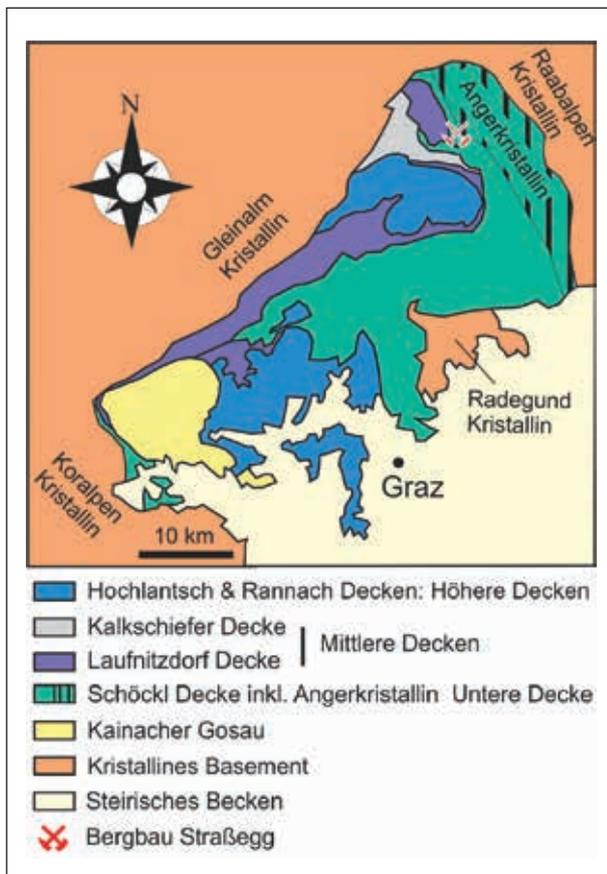


Abb. 9: Vereinfachte geologische Darstellung des Grazer Paläozoikums basierend auf der Arbeit von FRITZ/EBNER 1992, wie Anm. 19. Grafik: H.-P. Bojar.

von den neogenen Sedimenten des Steirischen Beckens überlagert und im Westen teilweise von kretazischen Gosau-Ablagerungen. Das Grazer Paläozoikum besteht aus meist schwach metamorphen Sedimenten, wie Kalken und Tonschiefern sowie Vulkaniten von silurischem bis karbonischem Alter.¹⁹

Der Bergbaubereich Straßegg befindet sich in den tiefst gelegenen Bereichen des Grazer Paläozoikums in der Schöckldecke. Vom Hangenden in das Liegende sind folgende Formationen zu unterscheiden (Abb. 10):

- Die bis zu 800 m mächtige Hochschlagformation bestehend aus Calcit- bzw. Dolomitmarmoren, karbonatreichen Phylliten und bis Zehnermetermächtigen Schwarzschiefern,
- die 200 bis 300 m mächtige Waitzbauerformation von Serizit-Chlorit Phylliten, Lyditen und dunklen Kalken,
- den Nebengesteinen der Vererzung (Pramerkogel Einheit), Chlorit-Muskovit-Albit-Epidot-Aktinolith-Schiefer und Felse, teils granatführend

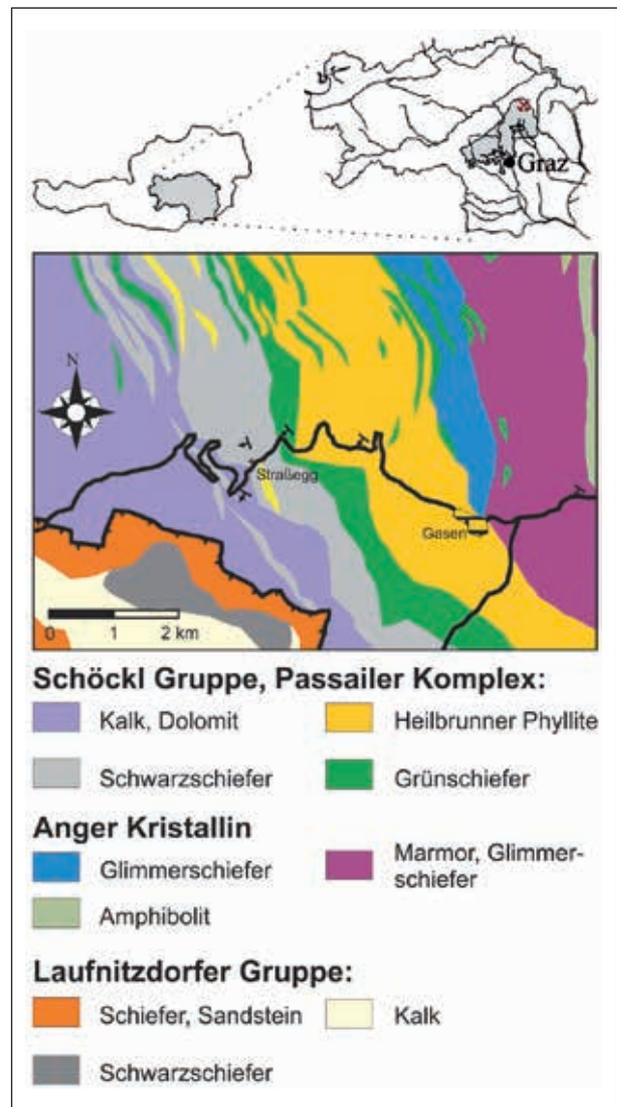


Abb. 10: Geologische Karte der Region Straßegg basierend auf der Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 134 Passail (Wien 1990). Grafik: H.-P. Bojar.

– und daran anschließend das noch tiefer gelegene und amphibolitfaziell metamorphe Angerkristallin.²⁰

Die polymetallische Vererzung am Straßegg ist an diskordante spätkretazische Quarz-Karbonat-Gänge gebunden, welche typischerweise Mächtigkeiten von einigen Zentimetern bis mehrere Dezimeter haben. Die Gänge wurden durch die auf eine nordwärts gerichtete Deckenstapelung folgende Südwest-gerichtete Extension gebildet. Die Gänge schneiden in einem flachen Winkel die Süd-West bis West gerichtete Schieferung bei einem ähnlichen Streichen. Sie wurden während der fortschreitenden Tektonik gefaltet, zerrissen und durch NW-SE gerichtete Abschiebungen spröde deformiert.²¹ Regional betrachtet sind die Gänge mineralogisch

durch die Gesteinszusammensetzung kontrolliert. Karbonat-reiche Gesteine werden in der Hochschlagformation von Karbonat-reichen Gängen beherrscht. Die Grünschiefer der Pramerkogel-Einheit beherbergen hingegen Quarz-Karbonatgänge, wobei das Karbonat vor allem randlich in den Gängen auftritt. Gänge in den tieferen Einheiten der Heilbrunnerformation und dem Angerkristallin werden von Quarz aufgebaut. Sowohl Sulfide als auch der Gangquarz wurden aus metamorphen Fluiden in einem Gesteins-gepufferten System gefällt.²²

Zwei Phasen der Erzbildung können unterschieden werden. Die Frühphase wird von Arsenopyrit und Pyrit beherrscht. Tektonische Bewegungen führten zu spröden Verformungen dieser Erze (**Abb. 11/A**). In einer späteren Phase wurden Minerale gebildet, welche von Buntmetallen dominiert sind. Diese verfüllen Risse früher gebildeter Sulfide bzw. umhüllen diese (**Abb. 11/B**). Die Minerale dieser zweiten

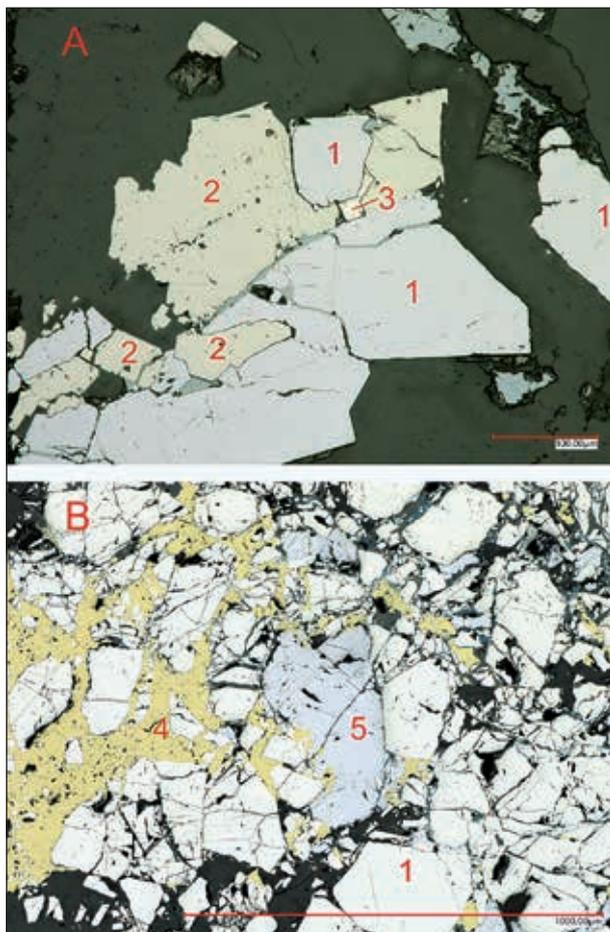


Abb. 11: Reflexionsmikroskopische Aufnahmen von Erzanschliffen, Bergbau Straßegg. A: 1 Arsenopyrit, 2 Pyrit, 3 Gold. B: 1 Arsenopyrit, 4 Chalkopyrit, 5 Galenit, Balkenlänge jeweils 100 Mikron. Foto. H.-P. Bojar.

Phase sind vor allem Galenit, Chalkopyrit, Tetraedrit, Boulangerit, Jamesonit und Meneghinit. Gold hat meist hohe Silbergehalte und ist vor allem in Rissen und als Einschlüsse in Sulfiden der ersten Phase zu finden (**Abb. 11/A**), seltener auch in Paragenese mit den Buntmetallsulfiden. Ein zweiter Vererzungstyp sind monomineralische Arsenopyritknollen und -platten welche lose in verwitterten Grünschiefern gefunden werden können. Dieser Erztyp zeigt auch keine erhöhten Buntmetall- oder Edelmetallgehalte.²³

Archäologische Untersuchungen

Zwischen Mai und Juli 2007 führte das Bundesdenkmalamt in Kooperation mit dem Landesmuseum Joanneum, heute Universalmuseum Joanneum, auf Grundstück 401/12 der Katastralgemeinde Sonnleiten-Pernegg (MG Breitenau am Hochlantsch, PB Bruck-Mürzzuschlag) archäologische Untersuchungen an einer Anlage zur Herstellung von Arsenikalien durch. Die Ausgrabungen konzentrierten sich auf den südlichen Rand einer viehwirtschaftlich genutzten Almfläche auf ca. 1095 m Seehöhe, wo im Jahr zuvor durch die Anlage eines Forstwegs die Vorderwand eines Ofens und mehrere im Verband liegende Holzbretter mit anhaftenden Arsensulfid-Resten angeschnitten wurden, die nun in zwei, ungefähr 15 m entfernten Grabungsflächen eingehender untersucht werden sollten.

Auf der östlichen, ca. 36 m² großen Grabungsfläche war der spätere Ofenbefund bereits vor der Abnahme der Humusschicht als längliche Erhebung im Gelände gut erkennbar. Nach der Beseitigung einer geringmächtigen Versturzschiicht kam das lehmgebundene Ofenmauerwerk aus sekundär verwendeten Bruchsteinen zum Vorschein, das drei Errichtungsschritte erkennen ließ. Am Beginn stand ein 4 x 3 m großes in den Hang eingetieftes Mauergeviert, dessen Innenraum anschließend durch eine Quermauer in zwei voneinander getrennte Kammern geteilt wurde. Lediglich die westliche Kammer wurde baulich ausgestaltet und mit einem Feuerrost aus elf hochkant gestellten und ca. 50 cm langen Steinplatten ergänzt. Um den Rost herum wurde ein weiterer Mauerkörper errichtet, von dem sich jedoch nur die untersten Steinlagen erhalten haben (**Abb. 12**).

Die Kammer selbst hatte Ausmaße von ungefähr 150 x 50 x 40 cm und besaß in ihrer Südwand einen ca. 10 x 10 cm großen Belüftungskanal. Innerhalb



Abb. 12: Sublimierofen mit Aschenrost von Westen. Foto: D. Modl.

der Kammer fanden sich mehrere Holzkohle- und Aschenhorizonte sowie der Kopf eines schweren Eisenhammers, der hier möglicherweise beim Bau vergessen wurde. Aus dem Ofeninneren, aber vor allem aus einer Planierschicht südlich des Ofens konnten größere Mengen an technischer Keramik geborgen werden, deren Fragmente sich hauptsäch-



Abb. 13: Zusammenstellung der technischen Keramik, darunter Röhren und eine birnenförmige Retorte. Foto: D. Modl.

lich zu schmalen Röhren und birnenförmigen Retorten rekonstruieren ließen (Abb. 13). Sie sind als miteinander kombinierbare Sublimations- bzw. Schmelzgefäße anzusprechen, wie Brand- und Schmauchspuren sowie hitzebedingte Abplatzungen an den Außenseiten und glasartige Arsensulfid-Verbindungen an deren Innenseite zeigen.

Obwohl große Teile des aufgehenden Mauerwerks des Ofens nach dessen Aufgabe wohl gezielt zur Baumaterialgewinnung abgetragen wurden, scheint die funktionale Ansprache der ergrabenen Strukturen als Unterbau eines Sublimierofens zur Synthese oder Läuterung von Arsensulfiden in tönernen Retorten sehr wahrscheinlich. Demnach wären die vorhandenen Baureste als Aschenrost bzw. -kammer mit einem seitlichen Kanal zur Belüftung zu deuten und mit ein- oder zwei darüberliegenden Kammern zur Aufnahme des Brennstoffs und der Sublimations-/Schmelzgefäße zu ergänzen. Vermutlich ist der Ofen als Galeerenofen anzusprechen, indem die Sublimations-/Schmelzgefäße mit den Ausgangsstoffen unmittelbar nebeneinander im Feuerungsraum angebracht waren.

Direkte Vergleichsbeispiele für die Bauweise des Sublimierofens und die Form der tönernen Retorten sind aus dem Kontext der Arsenikgewinnung bislang nicht bekannt. Die vom 19. und beginnenden 20. Jahr-



Abb. 14: Sublimierofen mit Flugdach. Foto: D. Modl.

hundert überlieferten Pläne und Fotografien von historischen Arsenikhütten mit „Rotglas“-Öfen in Deutschland, Polen und Spanien zeigen wesentlich fortschrittlichere Industrieanlagen mit aus Ziegeln errichteten Öfen, wo Ton- bzw. Schamottrohren mit Ton- oder Eisenretorten in mehreren Reihen übereinander angeordnet waren (Abb. 4 und 5).²⁴ Der Sublimierofen aus Straßegg besitzt mit seiner technischen Keramik dagegen größere Ähnlichkeiten zu Gewinnungsanlagen für Vitriol und Quecksilber/Zinnober aus dem 19. Jahrhundert.²⁵ Aufgrund seiner baulichen Einzigartigkeit wurden die Reste des Sublimierofens mit Grabungsende nicht wieder zugeschüttet, sondern von freiwilligen Helfern und der Marktgemeinde Breitenau am Hochlantsch mit einem Flugdach versehen, wodurch er weiterhin als Anschauungs- und Studienobjekt für die Öffentlichkeit und Forschung zugänglich ist (Abb. 14).

Auf der westlichen, gut 30 m² großen Grabungsfläche ergab sich eine reichlich komplexe Befundsituation aus vielfältigen Holz- und Mauerresten sowie Sedimentablagerungen, die vermutlich mit dem Bau, Betrieb und Verfall einer Anlage zur nasschemi-

schon Fällung, nasstechnischen Reinigung und/oder pyrotechnischen Weiterverarbeitung von gelbem Arsensulfid in Verbindung stehen.

Die stratigrafisch ältesten Baureste sind im Nordteil der untersuchten Fläche ein von Nordwest nach Südost verlaufendes Fundament aus Grünschiefersteinen mit einem hangseitig vorgelagerten Graben mit Resten einer Holzrinne. Auf der Fundamentinnenseite konnte eine durch vorragende und durch Hitzeeinwirkung rötlich verfärbte Grünschieferblöcke gebildete Nische mit einem gut 15 cm starken holzkohlehältigen Schichtpaket dokumentiert werden. Dieser Grabungsbefund dürfte wohl als die Substruktion eines weiter in den Hang verlaufenden Gebäudes oder einer technischen Anlage mit vor gelagerter Hangwasserdrainage und einer dazugehörigen Feuerstelle mit Arbeitshorizont im Inneren zu deuten sein.

An diese Struktur wurde in einer zweiten Bauphase ein von Nordwest nach Südost orientiertes Holzbecken leicht versetzt angebaut (Abb. 15). Durch vorangegangene Wegböschungsarbeiten war die Holz-

becken leicht versetzt angebaut (Abb. 15). Durch vorangegangene Wegböschungsarbeiten war die Holz-



Abb. 15: Holzbecken mit der untersten Bretterlage von Westen. Foto: D. Modl.

konstruktion des Beckens zum Zeitpunkt der Grabung schon stark zerstört, dennoch konnten dessen Maße durch Abdrücke und Reste der Hölzer im Hangschotter, sowie durch einen noch erhaltenen Pfosten, der wohl die südwestliche Beckenwand fixierte, mit mindestens 2 x 3 m bestimmt werden. Der in diesem Bereich durch einsickernde Arsenverbindungen zu einer Breccie verkittete Hangschotter und die unmittelbar darüberliegenden feinen Sedimentablagerungen mit Arsensulfid-Partikeln, lassen auf einen hier durchgeführten nasstechnischen Aufbereitungs- bzw. Reinigungsprozess schließen.

Darüber fanden sich noch die letzten Reste eines zum Teil kreuzweise verlegten und auf bis zu 1,4 m Länge erhaltenen Bodens aus Fichten- und Tannenholtzbrettern, der mit einer bis zu fünf Zentimeter starken Lage aus gelben Arsensulfiden belegt war, die hier gelagert oder entsorgt wurden. Letzteres scheint durch die Zusammensetzung der Auflage wahrscheinlich, da die durch nasschemische Fällung gebildeten Arsensulfide (mittels Schwefelwasserstoff?) mit solchen aus der Sublimation verunreinigt oder absichtlich vermischt waren. Die zuvor erwähnte Feuerstelle, aber auch mehrere im Umfeld geborgene Eisenblechfragmente, die man durchaus zu Kesseln oder Pfannen zuordnen kann, lassen vermuten, dass in diesem Bereich vielleicht Arsengläser aus dem obigen Gemisch erschmolzen wurden. Ein produktionstechnischer Zusammenhang mit dem unmittelbar hangaufwärts liegenden Ofen ist zu vermuten, kann aber nicht eindeutig bewiesen werden.

Die Datierung beider Anlagen in das 18. bzw. 19. Jahrhundert ist trotz des Fehlens entsprechender archivalischer Nachweise sehr wahrscheinlich. Die dendrochronologische Datierung zweier Holzreste aus der Beckenkonstruktion der westlichen Grabungsfläche durch Michael Grabner von der Universität für Bodenkultur in Wien erbrachte für den letzten zählbaren Jahrring ein Datum von 1894 bzw. 1903, wodurch am Straßegg für diesen Zeitraum – entgegen den bisherigen Angaben in der Literatur – nicht nur eine Produktion von Arsenik, sondern auch von künstlichen Arsensulfiden existiert haben muss.

Naturwissenschaftliche Untersuchungen

Im Bereich des Sublimierofens und des Holzbeckens am Straßegg wurde im Zuge von Fundaufsammlungen zwischen 2003 und 2006 sowie der Grabung 2007 eine Vielzahl von mineralogischen

Proben geborgen und auch Großteils mittels Polarisationsmikroskopie (PLM), Röntgendiffraktometrie (XRD), Rasterelektronenmikroskopie (SEM) kombiniert mit Energie- und Wellenlängen-dispersiver Röntgenanalyse (EDX/WDX), Raman-Mikrospektroskopie und Elektronenstrahl-Mikrosonde (ESMS) untersucht. Dabei handelte es sich einerseits um die für die Arsensulfid-Herstellung erforderlichen Ausgangsstoffe Arsenik und Schwefel und andererseits um verschiedene gelbe und rote Kunstprodukte, wobei Letztere in Form von geringmächtigen Sedimentschichten, Schmelzkrusten auf technischer Keramik und isoliert liegenden, pulverförmigen oder glasartigen Rückständen vorlagen. Während es sich hierbei vornehmlich um Abfall- oder Zwischenprodukte handelt, konnte in den mineralogischen Sammlungen des Universalmuseums Joanneum in Graz und des Benediktinerstiftes Admont historische Rotgläser aufgefunden gemacht werden, die trotz ihres uneinheitlichen Erscheinungsbildes die handelsfertigen Endprodukte darstellen.²⁶

- Rotglas (UMJ, Slg. Mineralogie, Inv.-Nr. 7223; 1 Stück; Gew. 427 g), kirschrot, opak, Muldenhütte in Freiberg, erworben 1868 (**Abb. 3/1**)²⁷
- Rotglas (UMJ, Slg. Mineralogie, o. Inv.-Nr., liegt Inv.-Nr. 7223 bei; 1 Stück, Gew. 26 g), dunkelrot mit gelben Einschlüssen, opak, Herkunft und Erwerbung unbekannt (**Abb. 3/2**)
- Rotglas (UMJ, Slg. Mineralogie, Inv.-Nr. 38.686-38.689; 4 Stück; Gew. 67 g, 102 g, 107 g, 234 g), hellrot bis braunschwarz mit gelben Schlieren und Einschlüssen, durchscheinend bis opak, Walchen bei Öblarn, erworben 1837 (**Abb. 3/3-5**)²⁸
- Rotglas (Benediktinerstift Admont, Naturhistorisches Museum, Gesteins- und Mineraliensammlung, o. Inv.-Nr.; 3 Stück; Gew. 30 g, 77 g, 167 g), hellrot bis dunkelrot, teilweise mit weißen oder gelben Schlieren, durchscheinend bis opak, Herkunft und Erwerbung unbekannt, jedoch vor 1900 (**Abb. 3/6-9**)

Durch die kombinierte Untersuchung des Probenmaterials aus Straßegg mit historischen und auch modernen Referenzproben war es weltweit erstmals möglich, die Farbe, das Gefüge (Struktur und Textur), den Stoffbestand und die chemische Zusammensetzung sowie die Herstellungsverfahren künstlich erzeugter Arsensulfide eindeutig zu bestimmen und auch voneinander zu differenzieren.²⁹

Bis vor wenigen Jahren wurden „künstliche Arsensulfide“ für die synthetisch hergestellten Äquivalente der natürlichen Minerale „Auripigment“ und „Realgar“ gehalten. Deshalb muss differenziert werden einerseits zwischen „künstlichem Auripigment“ (hergestellt im trockenen Verfahren durch Sublimieren, oder nasschemisch) bestehend aus einer Mischung von Arsen trioxid (As_2O_3) und röntgenamorphem Arsensulfid-Glas ($\text{g-As}_2\text{S}_3$), und andererseits „synthetischem Auripigment“ (hergestellt unter Hochdruck/Hochtemperatur Bedingungen in geschlossenem System), in Form von Kristallen mit denselben optischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften wie denen des natürlichen Minerals Auripigment. Weiterhin muss differenziert werden zwischen „künstlichem Realgar“ (hergestellt im trockenen Verfahren unter Atmosphärenbedingungen) bestehend aus einer Mischung von röntgenamorphem Arsensulfid-Glas ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) und/oder einem Sublimationsprodukt aus durchscheinenden Kristallen ($\text{As}_8\text{S}_{8,7}$) der $\beta\text{-As}_4\text{S}_4\text{-As}_8\text{S}_9$ Mischkristallreihe (Bonazziit-Alacranit), sowie andererseits „synthetischem Realgar“ (hergestellt unter Hochdruck/Hochtemperatur Bedingungen in einem geschlossenen System), in Form von Kristallen mit denselben optischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften wie denen des natürlichen Minerals Realgar.

Künstliche Arsensulfide sind (unter Atmosphärenbedingungen im Labormaßstab) entweder durch Nassfällung mit Schwefelwasserstoff, Natriumthiosulfat bzw. Thioacetamid, oder durch trockene Verfahren mit Schmelzen und/oder Sublimieren von Substanzgemischen aus Arsenik und Schwefel bzw. von Natur-Auripigment/Realgar³⁰ herstellbar.

Die beiden nassen Fällungsverfahren mit Schwefelwasserstoff, Natriumthiosulfat bzw. Thioacetamid bringen generell mikroskopisch kleine, hell- bis goldgelbe rundliche, röntgen-amorphe Arsensulfid-Partikel mit einem Durchmesser in Größenordnungen zwischen 0,1 bis 2 μm hervor. Beim Trocknen der Fällungsprodukte können darin kleine Blättchen-förmige Rückstände aus kristallinem Arsenik auftreten.

Trockenes Schmelzen und Sublimieren variabler Mischungen aus kristallinem Arsenik (As_2O_3) und kristallinem Schwefel (S) in Pulverform bringen generell Schmelzkuchen und/oder Sublimate aus farblosem, kristallinem Arsenik (As_2O_3), gelbem, röntgen-amorphem Arsensulfid-Glas ($\text{g-As}_2\text{S}_3$), sowie hellrotem Pulver aus ($\text{As}_8\text{S}_{8,7}$) der $\beta\text{-As}_4\text{S}_4\text{-As}_8\text{S}_9$ Mischkristallreihe (Bonazziit-Alacranit) hervor.

Schmelzkuchen, die durch Zusammenschmelzen von Arsenik und Schwefel hergestellt werden, sind meist hellgelb bis gelb-orange gefärbt und besitzen eine glasartig spröde Konsistenz mit muscheligen Bruch. Dieses Produkt entspricht dem historischen „Gelbglass“. Die Matrix erweist sich als farblos-transparentes, feinkristallines Arsenik mit massenhaften Einschlüssen aus mikroskopisch kleinen, goldgelben, röntgen-amorphen Arsensulfid-Glas-Kügelchen mit der chemischen Zusammensetzung von annähernd ($\text{g-As}_2\text{S}_3$), sowie winzigen, roten, feinst-kristallinen Kügelchen aus radialstrahligen Aggregaten ($\text{As}_8\text{S}_{8,7}$) der $\beta\text{-As}_4\text{S}_4\text{-As}_8\text{S}_9$ Mischkristallreihe (Bonazziit-Alacranit). Die kristalline Arsenik-Matrix ist oft radialstrahlig, rhythmisch-kolloform gewachsen. Der Anteil der gelben Arsensulfid-Glas Einschlüsse variiert je nach Ausgangsmischung zwischen 1 und 50 Vol. %. Die roten ($\text{As}_8\text{S}_{8,7}$)-Kügelchen können mit bis zu 10 Vol. % beteiligt sein.

Eine weitere „Gelbglass“-Varietät, die auch unter der Bezeichnung „künstliches Auripigment“ geführt wurde, besteht aus einer gelb durchscheinenden, röntgenamorphen Arsensulfid-Glas-Matrix ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) variabler chemischer Zusammensetzung ohne kristalline Anteile.

Rote Schmelzkuchen aus historischen Arsenikhütten, die unter der Bezeichnung „Rotglas“ oder „künstlicher Realgar“ gehandelt wurden, setzen sich aus einer gelben muscheligen brechenden röntgenamorphen Arsensulfid-Glas-Matrix (As_2S_3) und mikroskopisch kleinen, roten, kugelförmigen, polykristallinen ($\text{As}_8\text{S}_{8,7}$)-Kügelchen zusammen. Die oft zu beobachtende inhomogene, schlierenartige Textur entspricht einem Fließgefüge, welches durch Rührvorgänge im zähflüssigen Zustand erzeugt wurde. Diese „Rotglas“-Varietät ist jedoch nur an den Kanten oder in dünnen Splittern durchscheinend. Andererseits sind hellrote bis dunkelbraune „Rotglas“-Proben mit muscheligen Bruch bekannt, die ausschließlich aus einem transparenten bis opaken röntgenamorphen Arsensulfid-Glas ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) ohne kristalline Komponenten bestehen.

Diese Ausführungen können nun mit dem Probenmaterial aus den Ausgrabungen am Straßegg auch optisch gut belegt werden. Insgesamt ließen sich den Kunstprodukten „Arsenik“, „Auripigment“ und „Realgar“ zehn Komponenten zuordnen, für die hier beispielhaft neun künstliche Arsensulfid-Proben näher vorgestellt werden, die entweder aus

der nasschemischen Fällung im Bereich des Holzbeckens stammen (1), oder einem in Keramikgefäßen durchgeführten Schmelzprozess (2–6, 9) bzw. Sublimationsprozess (1, 7, 8) zuzuordnen sind (**Abb. 16 und 17**). Zur Verdeutlichung sind die Prozesse, Produkte und Proben auch zusammen in einem Flussdiagramm dargestellt (**Abb. 18**). Durch die Inhomogenität mancher Proben sind dort Mehrfachnennungen bei den Produkten möglich.

Produkte der nasschemischen Fällung:

- 1) Hellgelbe submikroskopisch-kolloidale Pulver aus röntgenamorphem Arsensulfid (As_2S_3), wahrscheinlich hergestellt durch nasschemische Fällung (mit Verunreinigungen durch Weißgel und Rotpulver). (**Abb. 16/1**)

Produkte der trockenen Schmelz-Prozesse:

- 2) Gelbe bis orange-rote Schmelzkuchen aus Schwefel-Kristallaggregaten, die teilweise durch orange bis rote Arsensulfid-Glas-Schmelzkuchen mit Fließtextur verdrängt werden ($\text{g-As}_x\text{S}_x$). (**Abb. 16/2**)
- 3) Gelbe bis orange Schmelzkuchen aus massenhaft Arsensulfid-Glaskügelchen ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) in farblos-transparenter, kristalliner Matrix aus Arsen trioxid (As_2O_3). (**Abb. 16/3**)
- 4) Gelbe, orange oder rote Schmelzkuchen aus Arsensulfid-Glas ($\text{g-As}_x\text{S}_x$), weitgehend einschlussfrei. (**Abb. 16/4**)

- 5) Tiefrote Schmelzkuchen aus Arsensulfid-Glas ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) mit zahllosen rundlichen Einschlüssen aus mikroskopisch kleinen radialstrahlig gewachsenen Kristallen der $\beta\text{-As}_4\text{S}_4\text{-As}_8\text{S}_9$ Mischkristallreihe (Bonazziit-Alacranit). (**Abb. 17/5**)
- 6) Tiefrote Schmelzkuchen aus palisadenartig gewachsenen, verzwilligten Kristallen der $\beta\text{-As}_4\text{S}_4\text{-As}_8\text{S}_9$ Mischkristallreihe (Bonazziit-Alacranit), oft mit mikroskopisch kleinen Einschlüssen aus farblosem transparentem Arsen trioxid (As_2O_3). (**Abb. 17/6**)

Produkte der trockenen Sublimations-Prozesse:

- 7) Farbloses pulveriges Sublimationsprodukt aus transparenten Arsen trioxid Kristallaggregaten (As_2O_3), oft mit mikroskopisch kleinen Einschlüssen aus roten und/oder gelben Arsensulfid-Glaskügelchen ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) oder unregelmäßigen Fragmenten ($\text{g-As}_x\text{S}_x$). (**Abb. 17/7**)
- 8) Rotes pulveriges Sublimationsprodukt aus mikroskopisch kleinen durchscheinenden Kristallen ($\text{As}_8\text{S}_{8,7}$) der $\beta\text{-As}_4\text{S}_4\text{-As}_8\text{S}_9$ Mischkristallreihe (Bonazziit-Alacranit). (**Abb. 17/8**)
- 9) Gelbes pulveriges Sublimationsprodukt aus mikroskopisch kleinen Arsensulfid-Glaskügelchen ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) in und auf palisadenartig gewachsenem Schwefel; weiters rote Arsensulfid-Glas Fragmente ($\text{g-As}_x\text{S}_x$) in schlierig-geschichtetem Arsenik (As_2O_3). (**Abb. 17/9**)

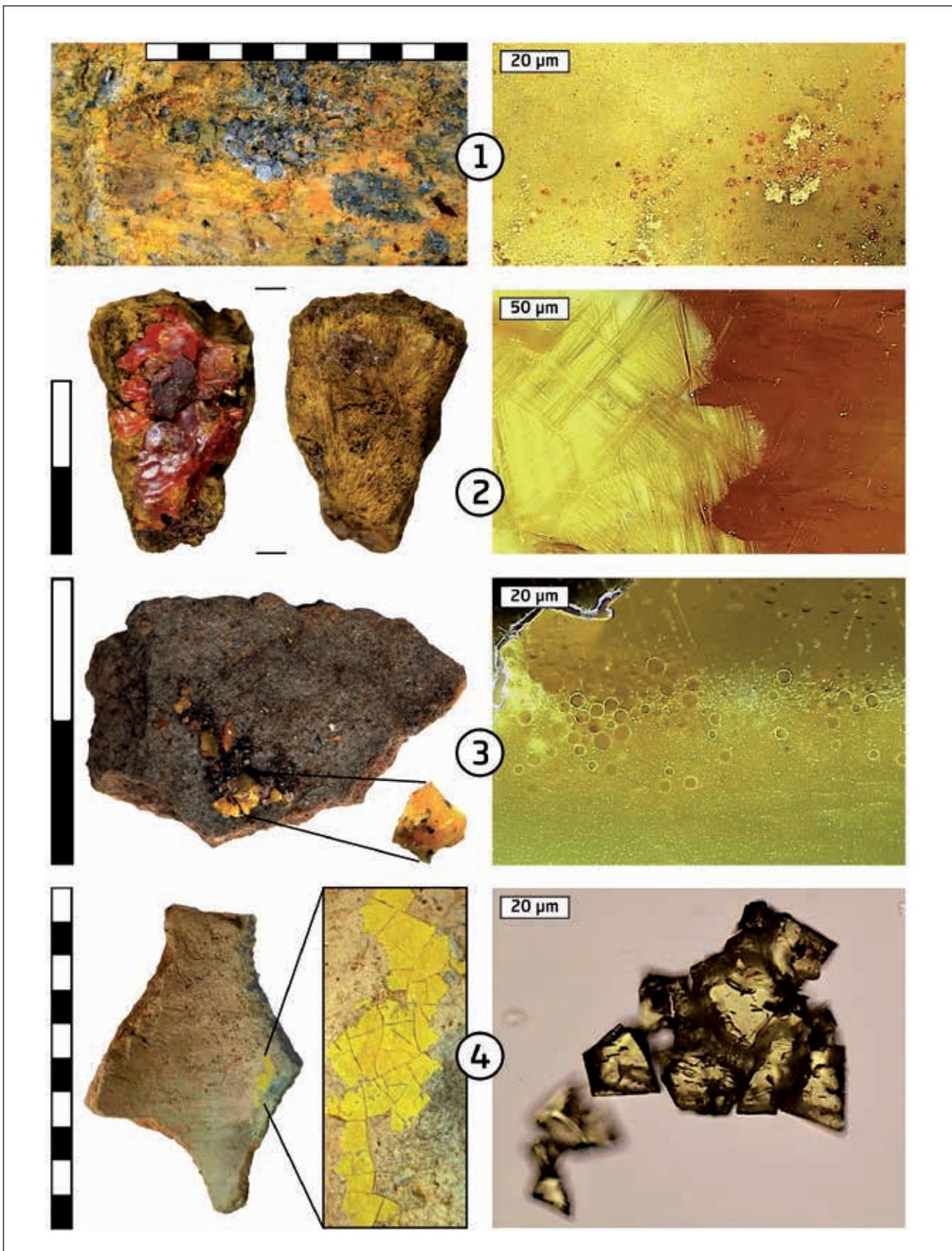


Abb. 16: Arsensulfid-Produkte (siehe Beschreibung im Text) aus der nasschemischen Fällung (1) und dem trockenen Schmelz-Prozess (2-4), darunter Sedimentschicht aus gelben Arsensulfid (1), Schwefelstück mit Rotglas (2) und Schmelzreste auf technischer Keramik (3-4). Polierter Anschliff im Aufsicht-Hellfeld (1-3 rechts); Streupräparat in Meltmount Einbettungsmittel im Durchlicht (4 rechts). Fotos: D. Modl (1-4 links), G. Grundmann (4, links und 1-4 rechts).

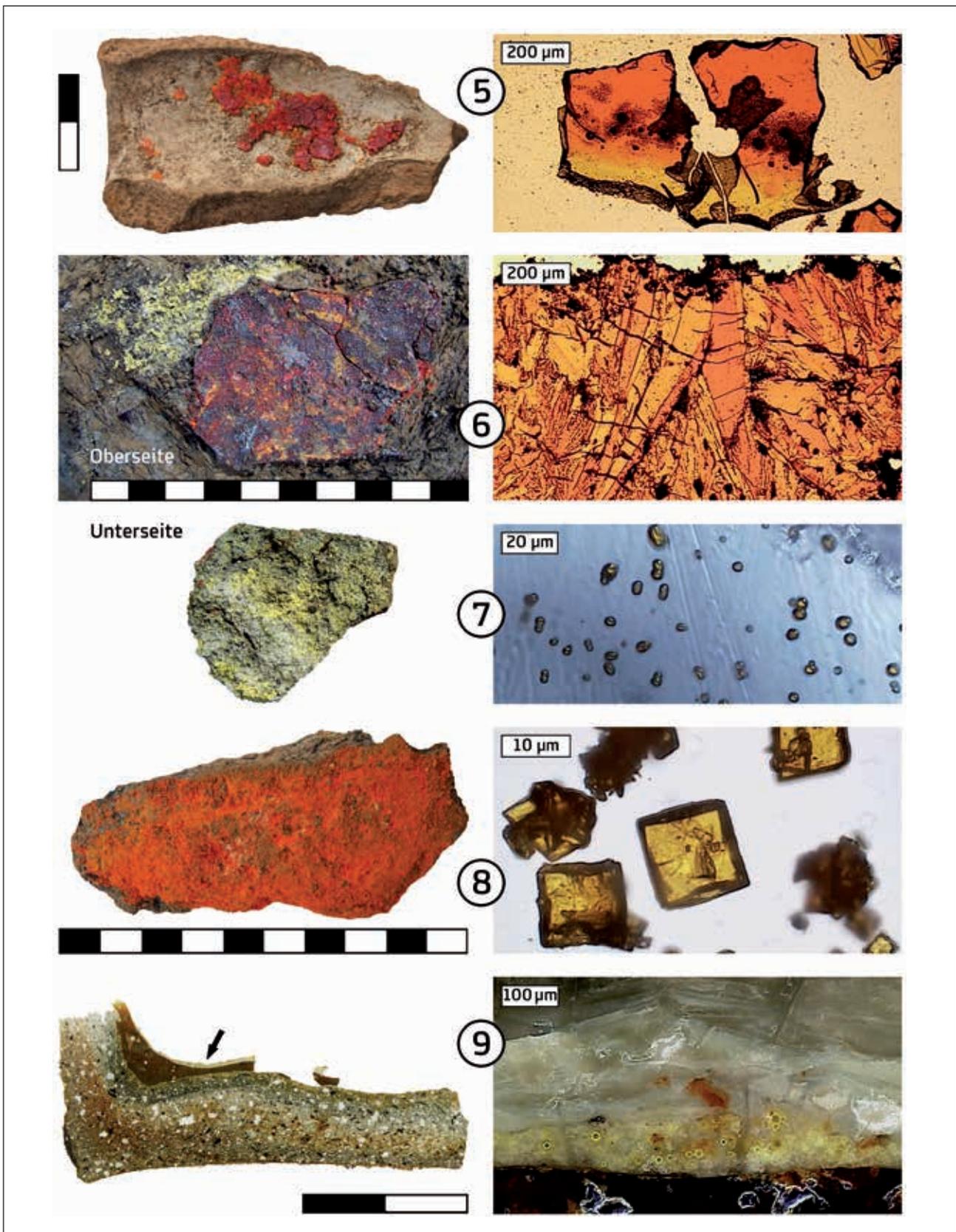


Abb. 17: Arsensulfid-Produkte (siehe Beschreibung im Text) aus dem trockenen Schmelz-Prozess (5–6) und dem trockenen Sublimations-Prozess (7–9), darunter technische Keramik mit Schmelz- bzw. Sublimationsresten (5, 9), die Ober- und Unterseite eines Schmelzkuchens (6–7) und ein pulveriges Sublimationsprodukt (8). Beidseitig polierter Dünnschliff im Durchlicht (5–6, 9 rechts); Streupräparat im Durchlicht (7–8 rechts); beidseitig polierter Dünnschliff im Auflicht-Dunkelfeld (9 rechts). Fotos: D. Modl (5–8 links), G. Grundmann (9 links und 5–9 rechts).

Synthese-Prozess	Ausfällen – nasser Prozess	Schmelzen – trockener Prozess	Sublimieren – trockener Prozess
Ausgangsstoffe	(H ₂ S)? + HCl+ (As ₂ O ₃)	Schwefel (S) + Arsenik (As ₂ O ₃)	Arsenik (As ₂ O ₃) +/- Schwefel (S)
Apparaturen	Holzbecken ? / Metallgefäße ?	Ofen / Retorten-Kessel-Pfanne	Ofen-Giftfang / Röhren-Retorten
Aufbereitung	Schlämmen, Mahlen, Trocknen	Brechen und/oder Mahlen	+/- Mahlen
Kunstprodukt „Arsenik“	„Weißgel“ = Fällung kristallines Arsenik (As ₂ O ₃) kolloidal-fein Produkt 1	„Weißglas“ = Schmelzkuchen kristalline Arsenik-Matrix +/- (As ₂ S ₃ -Glas) +/- Schwefel (Produkt 9)	„Weißpulver“ = Sublimat kristallines Arsenik (As ₂ O ₃) +/- Arsensulfidglas (As ₂ S ₃ -Glas) Produkte 3 und 7
	„Gelbgel“ = Fällung Arsensulfid-Partikel (As ₂ S ₃) kolloidal-fein – röntgenamorph Produkt 1	„Gelbglas“ = Schmelzkuchen amorphe (As ₂ S ₃ -Glas)-Matrix +/- Arsenik (As ₂ O ₃) Produkte 3, 4 und 9	„Gelbpulver“ = Sublimat Arsensulfidglas (As ₂ S ₃ -Glas) +/- Arsenik (As ₂ O ₃) (Produkt 9)
	„Farbgel“ = Fällung +/- Verunreinigungen aus farblosem Arsenik (As ₂ O ₃) und röntgenamorphen Glaspartikeln „Pittizit“ ~ (Fe, AsO ₄ , H ₂ O) ? –	„Rotglas“ = Schmelzkuchen (As ₄ S ₄ -As ₈ S ₉)-Kristalle +/- Arsenik (As ₂ O ₃) Produkt 6	„Rotpulver“ = Sublimat feinste (As ₄ S ₄ -As ₈ S ₉)-Kristalle +/- Arsenik (As ₂ O ₃) Produkte 1 und 8
Kunstprodukt „Auripigment“		„Rotglas“ = Schmelzkuchen amorphe (As _x S _x -Glas)-Matrix +/- (As ₄ S ₄ -As ₈ S ₉ -Kristalle) Produkte 2 und 5	
Kunstprodukt „Realgar“			

Abb. 18: Flussdiagramm der Produktion von künstlichen Arsensulfiden, die im Bereich des Sublimierofens und des Holzbeckens am Straßegg nachgewiesen worden sind. Grafik: G. Grundmann.

Danksagung

Die Autoren danken Thomas und Werner Bojar (Breitenau am Hochlantsch), Simon Brugner (Wien), Bürgermeister a. D. Michael Brunner (Breitenau am Hochlantsch), Dr. Lucia Burgio (Victoria and Albert Museum, London), Prof. Gert Christian (Breitenau am Hochlantsch), Dr. Johann Delany (Montanuniversität Leoben, Universitätsbibliothek), Mag. Werner Friepezs (Salzburg Museum, Fotografie), Prof. Dr. Hans Albert Gilg (Technische Universität München), Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Michael Grabner (Boku Wien, Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, Tulln an der Donau), Klaus Haas (Technische Universität München), HR Univ.-Doz. Dr. Bernhard Hebert (Bundesdenkmalamt Wien, Abteilung für Archäologie), Dr. Natalia Ivleva (Technische Universität München), Roland Kowar (Freiberger Altertumsverein e.V., Fachgruppe Hüttengeschichte), Dr. Johanna Kraschitzer (Universalmuseum Joanneum, Abteilung Archäologie & Münzkabinett), Wolfgang

Krenz (Breitenau am Hochlantsch), Dipl.-Ing. Karl-Heinz Krisch (Benediktinerstift Admont, Naturhistorisches Museum), Niki Lackner (Universalmuseum Joanneum), Dr. Bernd Moser (Universalmuseum Joanneum, Abteilung Naturkunde, Mineralogie), Mag. Karl Peitler (Universalmuseum Joanneum, Abteilung Archäologie & Münzkabinett), Alexander Pekarek (Pharma- und Drogistenmuseum Wien), Dr. Klaus Rapp (München), Johann Reitbauer (Breitenau am Hochlantsch), Familie Reitbauer vulgo Weizenbichler (Breitenau am Hochlantsch), Dr. Mark Richter (University of Glasgow, United Kingdom), Carolin Rötter (Würzburg), Otto Schinnerl (Knappenverein Arzberg), Dr. Ulla Steinklauer (Deutschfeistritz/Graz), Dr. Gerald Unterberger (Ardning), Univ.-Prof. Dr. Leopold Weber (Wien), Dr. Holger Wendling M.A. (Salzburg Museum, Archäologie), Dr. Maria Windholz-Konrad (Graz) und der Markgemeinde Breitenau am Hochlantsch für Auskünfte und ihre Unterstützung.

Anmerkungen:

- 1 Grundlegend: Richard M. ALLESCH, Arsenik. Seine Geschichte in Österreich (Archiv für Vaterländische Geschichte und Topographie 54, Klagenfurt 1959).
- 2 Zu Abb. 1 siehe: Karl-Heinz LUDWIG, Die Agricola-Zeit im Montangemälde. Frühmoderne Technik in der Malerei des 18. Jahrhunderts (Düsseldorf 1979), 135–154.
- 3 Eine Auswahl: Fritz BYLOFF, Die steirische Arsenikesserei in geschichtlicher Betrachtung. In: Zeitschrift des Historischen Vereines für Steiermark 29 (1935), 107–110. Karl-Heinz MOST, Arsen als Gift und Zaubermittel in der deutschen Volksmedizin mit besonderer Berücksichtigung der Steiermark. (Diss. Univ. Graz 1939. ALLESCH 1959, wie Anm. 1, 247–278. Hubert SAUPER, Der Hidri-Mann – Rausch und Gift und andere Geschichten aus meinem Tal (Grosskirchheim 2003). Andreas SUCHER, Hittrach – Arsenik Humane & Equine Arznei und Leistungssteigerung (o. O. 2011). Walter BRUNNER, Arsenbergbau und Arsenmorde in der Steiermark. In: Mitteilungen der Korrespondentinnen und Korrespondenten der Historischen Landeskommission für Steiermark 11 (2014), 125–130. Simon BRUGNER, The Arsenic Eaters (Breda 2018).
- 4 Vgl. Daniel MODL, KG Sonnleiten-Pernegg, MG Breitenau am Hochlantsch, VB Bruck an der Mur [Jahresbericht]. In: Fundberichte aus Österreich 46 (2007), 56. Daniel MODL, Archäologische Untersuchungen im neuzeitlichen Arsenbergbaurevier Zuckenhut/Straßegg, Steiermark – Ein Beitrag zur Herstellung von künstlichem Auripigment. In: Internationales ÖGUF-Symposium 2008. Produktion – Distribution – Organisation. Ökonomische Strukturen und gesellschaftliche Relevanz von der Urgeschichte bis in die Neuzeit, 22. bis 25. Oktober 2008, Hallstatt (Oberösterreich) – Exzerpte (Hallstatt 2008), 40–41. Günter GRUNDMANN/Daniel MODL u. a., Die Arsenikhütte Zuckenhut/Straßegg (Steiermark, Österreich) – Archäologischer Erstnachweis der Produktion künstlicher Arsensulfid-Pigmente. In: Andreas HAUPTMANN/Heike STEGE (Hrsg.), Archäometrie und Denkmalpflege 2009, Jahrestagung in der Pinakothek der Moderne München, 25. bis 28. März 2009. In: Metalla, Sonderheft 2 (2009), 240–242.
- 5 Vgl. Carolin RÖTTER/Günter GRUNDMANN u. a., Auripigment/Orpiment – Studien zu dem Mineral und den künstlichen Produkten/Studies on the mineral and the artificial products (Materialien aus dem Institut für Baugeschichte, Kunstgeschichte und Restaurierung mit Architekturmuseum der Technischen Universität München (München 2007).
- 6 Vgl. die bisherigen Veröffentlichungen: Günter GRUNDMANN/Mark RICHTER, Current Research on Artificial Arsenic Sulphide Pigments in Artworks: A Short Review. In: Chimia 62/11 (2008), 903–907. GRUNDMANN/MODL u. a. 2009, wie Anm. 4, 240–242. Günter GRUNDMANN/Mark RICHTER u. a., Neues zur Variabilität der künstlichen Arsensulfid-Pigmente „Auripigment“ und „Realgar“. In: Andreas HAUPTMANN/Heike STEGE (Hrsg.), Archäometrie und Denkmalpflege 2009, Jahrestagung in der Pinakothek der Moderne München, 25.–28. März 2009. In: Metalla Sonderheft 2 (2009), 243–245. Günter GRUNDMANN/Natalia IVLEVA u. a., The rediscovery of sublimed arsenic sulphide pigments in painting and polychromy: applications of Raman microspectroscopy. In: Marika SPRING/Helen HOWARD (Ed.), Studying Old Master Paintings – Technology and Practice. The National Gallery Technical Bulletin 30th Anniversary Conference Postprints (London 2011), 269–276. Günter GRUNDMANN/Mark RICHTER, Types of dry-process artificial arsenic sulphide pigments in cultural heritage. In: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (Hrsg.), Fatto d'Archimia. Los pigmentos artificiales en las técnicas pictóricas (Madrid 2012), 119–143.
- 7 Vgl. Elisabeth West FITZHUGH (Ed.), Artists' Pigments – A Handbook of Their History and Characteristics, Vol. 3 (Oxford etc. 1997), 47–79, hier 48–50 und 66–73. Carolin RÖTTER, Natürliches und künstliches Auripigment – unter Einbeziehung von Realgar, In: RÖTTER/GRUNDMANN (2007), 7–100, hier 82–95. Elisabetta GLIOZZO/Lucia BURGIO, Pigments – Arsenic-based yellows and reds. In: Archaeological and Anthropological Sciences 14/4 (2022), o. S. [<https://doi.org/10.1007/s12520-021-01431-z>].
- 8 Z. B. Samuel TSCHELNITZ, Farben-Chemie insbesondere der Oel- und Wasserfarben nach ihrem chemischen und physikalischen Verhalten, ihrer Darstellung und Verwendung, so wie ihren gewöhnlichen Verfälschungen, für Fabrikanten, Maler, Techniker (Wien 1857), 52–53 und 94–95. Zur Verwendung als Farbpigment siehe auch die jüngste Untersuchung: Lucia BURGIO/Rosarosa MANCA u. a., Orange for gold? Arsenic sulfide glass on the V&A Leman Album. In: Journal of Raman Spectroscopy 50/8 (2019), 1169–1176.
- 9 Z. B. ANONYM, Über das Konserviren der eisernen Schiffe im Seewasser, von Malet. In: Österreichische militärische Zeitschrift 1/3 (1847), 341.
- 10 Z. B. August SCHARFENBERG, Die Feuerwerkkunst in ihrem ganzen Umfange. Lehrbuch der Luftfeuerwerkerei für Künstler vom Fach und Dilettanten (Ulm 1865), 37–38, 57–58, 180–181, 202–203, 383–384 und 406–408.
- 11 Z. B. Carl HARTMANN, Handbuch der Metallgießerei oder vollständige Anweisung in Sand, Masse und Lehm zu formen und mit Eisen, Messing, Bronze, Zink, Blei, Zinn, Silber und Gold in diesen Formen, so wie in metallenen Schalen eine Menge von Gegenständen des gemeinen Lebens, ferner Glocken, Statuen und andere Bildwerke, Maschinenteile und durch den Guß herzustellen, so wie endlich die Güsse, besonders die aus Eisen, weiter zu bearbeiten und zu vollenden, Zweiter Theil: Metallgießerei im engeren Sinne (Weimar 1868), 277–280.
- 12 Z. B. Wolfgang GRASSMANN (Hrsg.), Handbuch der Gerbereicheemie und Lederfabrikation, 1. Bd.: Die Rohhaut und ihre Vorbereitung zur Gerbung, 2. Teil: Die Wasserwerkstatt (Wien 1938), 113–116.
- 13 Z. B. Christian Heinrich SCHMIDT, Lehrbuch der Chemie für Färber und Zeugdrucker (Leipzig [1843]), 214–215.
- 14 Z. B. Wilhelm August LAMPADIUS, Grundriß einer allgemeinen Hüttenkunde zum Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbstunterrichte (Göttingen 1827), 496–498. Friedrich August WALCHNER, Die Chemie, volkssasslich und in Beziehung auf die Gewerbe und das bürgerliche Leben bearbeitet. Bd. 1: Anorganische Chemie (Stuttgart 1849), 980–984. Carl Friedrich PLATTNER, Vorlesungen über allgemeine Hüttenkunde, Bd. 2 (Freiberg 1863), 322–323. Bruno KERL, Handbuch der metallurgischen Hüttenkunde zum Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbststudium, Bd. 4 (Leipzig 1865), 524–531. Carl SCHNABEL, Handbuch der Metallhüttenkunde. Bd. 2: Zink – Cadmium – Quecksilber – Wismuth – Zinn – Antimon – Arsen – Nickel – Kobalt – Platin – Aluminium (Berlin 1896), 507–511. Hermann HILDEBRANDT, Lehrbuch für Metallhüttenkunde (Hannover 1906), 469–470.
- 15 Zusammenfassend: ALLESCH 1959, wie Anm. 1, 49–99, zu gelbem Hüttrauch, Auripigment und Realgar siehe 77, 81, 89, 95 und 97.
- 16 Vgl. Rudolf Werner SOUKUP, Chemie in Österreich: Von den Anfängen bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. Bergbau, Alchemie und frühe Chemie – Geschichte der frühen chemischen Technologie und Alchemie des ostalpinen Raumes unter Berücksichtigung von Entwicklungen in angrenzenden Regionen (Beiträge zur Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftsforschung 7, Wien/Köln/Weimar 2007), 180.
- 17 Vgl. Julius KRATTER, Erfahrungen über einige wichtige Gifte und deren Nachweis. In: Archiv für Kriminal-Anthropologie und Kriminalistik 13/1–2 (1903), 122–160, hier 122–125.
- 18 Zur Bergbaugeschichte und dem lokalen Sagenschatz: ALLESCH 1959, wie Anm. 1, 154–162. Karl HAIDING, Zu einer Sage über die Auffindung des Arsenikvorkommens von Straßbeck/Gasen. In: Weiz – Geschichte und Landschaft in Einzeldarstellungen 10/II (Weiz 1974), 88–90. Alfred SCHLACHER, In der Gasen II (Graz 1974), 123–141. Hans-Peter BOJAR, Zur Geschichte der Bergbaue am Straßegg. In: Gert CHRISTIAN (Hrsg.), Die Breitenau –

- Marktgemeinde am Fuße des Hochlantsch (Breitenau am Hochlantsch 1989), 19–22. Leopold WEBER, Die Blei-Zinkerzlagerrstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen. In: Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt 12 (1990), 108. Gert CHRISTIAN, Bergbauplätze und Sagen in der Breitenau. In: res montanarum 58 (2018), 106–110, hier 107–109.
- 19 Zum Grazer Paläozoikum und seinen Randbereichen: Helmut W. FLÜGEL/Franz NEUBAUER, Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen: Steiermark – Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1:200.000 (Wien 1984), 44–54; Harald FRITZ/Franz NEUBAUER, Geodynamic aspects of the Silurian and Early Devonian Sedimentation in the Paleozoic of Graz (Eastern Alps). In: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 68 (1988), 359–367; Harald FRITZ/Franz NEUBAUER, Exkursionsführer „Grazer Paläozoikum“. Symposium für Tektonik, Strukturgeologie und Kristallineologie (TSK III, 3) (Graz 1990); Harald FRITZ/Fritz EBNER u. a., The Graz Thrust-Complex (Paleozoic of Graz). In: Franz NEUBAUER (Ed.), The Eastern Central Alps of Austria, ALCAPA-Field Guide (Graz 1992), 83–92; Helmut FLÜGEL, Die lithostratigraphische Gliederung des Paläozoikums von Graz (Österreich). In: Österreichische Akademie der Wissenschaften, Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen 13 (2000), 7–59; Martin GROSS/Ingomar FRITZ u. a., The Neogene of the Styrian Basin – Guide to Excursions. In: Joannea Geologie Paläontologie 9 (2007), 117–193. Ralf SCHUSTER/Philip SCHANTL u. a., Tektonik, Metamorphose und Abkühlgeschichte des Grazer Paläozoikums auf Kartenblatt GK50 Blatt 135 Birkfeld. In: Ralf SCHUSTER/Tanja ILICKOVIC (Red.), Arbeitstagung 2015 der Geologischen Bundesanstalt, Geologie der Kartenblätter GK50 ÖK 103 Kindberg und ÖK 135 Birkfeld, Mitterdorf im Müürztal, 21. bis 25. September 2015 (Wien 2016), 71–87.
- 20 Zur Mineralogie und Genese der Vererzung am Straßegg: Jörg LOESCHKE, Zur Geochemie basischer Vulkanite aus dem Grazer Paläozoikum. In: Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark 118 (1988), 95–105. Hans-Peter BOJAR, Zur Geologie und Mineralogie in der Breitenau. In: Gert CHRISTIAN (Hrsg.), Die Breitenau – Marktgemeinde am Fuße des Hochlantsch (Breitenau am Hochlantsch 1989), 14–18, hier 17–18. Hans-Peter BOJAR/Aberra MOGESSIE u. a., Geochemie und Schwefelisotopen-Verteilung der Gold-Arsenopyrit-Vererzung am Straßegg, Steiermark. In: Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft 141 (1996), 72–73; Hans-Peter BOJAR/Aberra MOGESSIE u. a., Die Mineralogie und Genese der Elektrum-Arsenopyrit Vererzung am Straßegg, Breitenau am Hochlantsch/Gasen (Steiermark, Österreich). In: Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark 128 (1998), 57–76; Hans-Peter BOJAR/Ana-Voica BOJAR u. a., Evolution of veins and sub-economic ore at Strassegg, Paleozoic of Graz, Eastern Alps, Austria: evidence for local fluid transport during metamorphism. In: Chemical Geology 175 (2001), 757–777.
- 21 BOJAR/BOJAR u. a. 2001, wie Anm. 20, 757–777; Kurt KRENN/Harald FRITZ u. a., Late Cretaceous exhumation history of an extensional extruding wedge (Graz Paleozoic Nappe Complex, Austria). In: International Journal of Earth Sciences 97/6 (2008), 1331–1352.
- 22 BOJAR/BOJAR u. a. 2001, wie Anm. 20, 757–777.
- 23 BOJAR/MOGESSIE u. a. 1998, wie Anm. 20, 57–76; BOJAR/BOJAR u. a. 2001, wie Anm. 20, 757–777.
- 24 Vgl. Eduard LAMPADIUS, Beitrag zum Arsenikhüttenwesen. In: Berg- und hüttenmännische Zeitung mit besonderer Berücksichtigung der Mineralogie und Geologie 12/44 ([2. November] 1853), Sp. 761–780, hier 765–766 und 774–775, Fig. 2, 3 und 5. KERL 1865, wie Anm. 14, 525–526 und 528, Taf. XII/308–310. A. RZEHULKA, Die Gewinnung der Arsenikalien [2. Teil]. In: Berg- und Hüttenmännische Rundschau IV/5 ([5. Dezember] 1907), 72–77, hier 73–76. Hans KRAEMER (Hrsg.), Der Mensch und die Mineralien (Berlin/Leipzig [1908/09]), 171–172.
- 25 Z. B. Laura RESENBERG, Zinnober – zurück zu den Quellen (Materialien aus dem Institut für Baugeschichte, Kunstgeschichte und Restaurierung mit Architekturmuseum der Technischen Universität München (München 2005), 64 und 82, Abb. 21–23. Gerhard LEHRBERGER (Red.), Oleum – Die Vitriolölhütte am Kleinen Schwarzbach bei Bodenmais (1787–1829). Technik- und wirtschaftshistorische Untersuchungen zu den Anfängen der chemischen Industrie in Bayern im mitteleuropäischen Kontext (Bodenmais 2006), 27–30 und 125–127.
- 26 Im Zuge der Recherchen für diesen Beitrag konnten noch weitere Arsengläser ausfindig gemacht werden, die aber noch unzureichend dokumentiert und untersucht sind. Es handelt sich einerseits um zwei Rotgläser aus einem Privatnachlass in der Sammlung des Volkskundlers Romuald Pramberger (1877–1967) im Benediktinerstift St. Lambrecht und andererseits um ein kleines Glasfläschchen mit Rotglassplittern aus dem Pharma- und Drogistenmuseum in Wien (vgl. Michael J. GREGER, „Ich selbst habe mit Vorteil zwei Sympthiemitel angewendet ...“ Romuald Pramberger und seine gesammelten „Superstitiosa“. In: Eva KREISSL (Hrsg.), Kulturtechnik Aberglaube – Zwischen Aufklärung und Spiritualität. Strategien zur Rationalisierung des Zufalls (Bielefeld 2013), 519–536, hier 127, Abb. 3. BRUGNER 2018, wie Anm. 3, XXI, fig. ac).
- 27 Vgl. Jahresberichte des Joanneums 57, 1868, 5.
- 28 Vgl. Jahresberichte des Joanneums 26, 1837, 4–5.
- 29 Vgl. für das Folgende die bisherigen Publikationen: Günter GRUNDMANN/Carolin RÖTTER, „Artificial Orpiment“: microscopic, diffractometric and chemical characteristics of synthesis products in comparison to natural orpiment/„Künstliches Auripigment“: Mikroskopische, diffraktometrische und chemische Charakteristik von Syntheseprodukten im Vergleich zu natürlichem Auripigment. In: Rötter/Grundmann (2007), 103–165. GRUNDMANN/RICHTER 2008, wie Anm. 6, 903–907. GRUNDMANN/MODL u. a. 2009, wie Anm. 4, 242. GRUNDMANN/RICHTER u. a. 2009, wie Anm. 6, 243–245. GRUNDMANN/IVLEVA u. a. 2011, wie Anm. 6, 269–276. GRUNDMANN/RICHTER 2012, wie Anm. 6, 119–143.
- 30 Die Verarbeitung von Natur-Auripigment und Natur-Realgar und die daraus entstandenen Produkte werden hier nicht näher behandelt.

Autoren:

Mag. Dr. Hans-Peter Bojar

Universalmuseum Joanneum

Abteilung Naturkunde, Mineralogie

Weinzöttlstraße 16

8045 Graz

Österreich

E-Mail: hans-peter.bojar@museum-joanneum.at

Dr. Günter Grundmann

Eschenweg 6

32760 Detmold

Deutschland

E-Mail: grundmann.g@gmx.de

Mag. Daniel Modl

Universalmuseum Joanneum

Abteilung Archäologie & Münzkabinett

Schloss Eggenberg, Eggenberger Allee 90

8020 Graz

Österreich

E-Mail: daniel.modl@museum-joanneum.at