

Ein Blick über das Boutsarital auf die Rückseite der Exi-Mine, im Vordergrund die Ausgrabungen des britischen Archäologen J. E. Jones aus den frühen 1980-er Jahren. Foto K.-H. Fabritz.



Uwe Kolitsch, Branko Rieck,  
Franz Brandstätter, Fritz Schreiber, Karl-Heinz Fabritz,  
Günter Blaß, Joachim Gröbner

# Neufunde aus dem altem Bergbau und den Schlacken von Lavrion (II)



Im letzten Heft haben wir im I. Teil über die Neufunde 'richtiger' Mineralien berichtet - hier folgen nun die Beschreibungen der Schlackenbildungen.

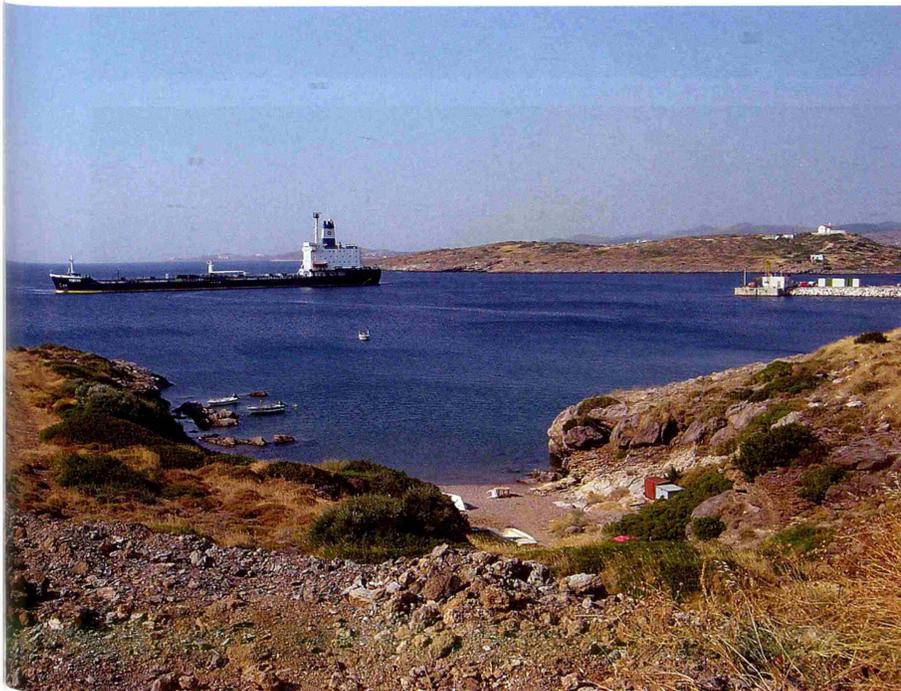
## Neufunde aus den Schlacken

### Die „Liebenbergit-Schlacke“

Überaus ungewöhnliche Nickel- und Vanadium-Schlackenphasen wurde in Brocken einer schwärzlichen, grobkörnigen, Natrium-reichen Schlacke bei Agios Konstantinos (= Kamariza) gefunden. Die sehr kleine Schlackenhalde liegt ca. 100 m Luftlinie nördlich der großen bekannten Kamariza-Halde, nur wenige Meter neben einem befahrbaren Feldweg. Ihre Ausdehnung beträgt lediglich ca. 5 m<sup>2</sup> und sie ist offensichtlich entstanden, als altes Schlackenmaterial zum Zuschütten eines Schachtes verwendet wurde. Die Schlacke hat ein unbekanntes Alter, aber ihre chemische Zusammensetzung und ein Fund von einem schlackeabenetzten, röt-

Seite 82, kleines Foto unten, „Schlackenschnorcheln“ in der Bucht von Vrissaki. Zur Zeit der Antike, als die bleihaltigen Schlacken direkt ins Meer gekippt wurden, lag der Wasserspiegel ca. 1,4 m tiefer als heute (LAMBECK et al., 2004; vergleiche auch FORRESTER & YOUNG, 2005). Foto I. Schreiber (2004).

Blick auf die Bucht von Vrissaki, eine Fundstelle von interessanten Schlacken. Foto F. Schreiber (2004).



lichen Ziegel sprechen für das 19. oder frühe 20. Jahrhundert (Versuchsaufschmelzung?). Die untersuchten Proben, die zuerst wegen einer olivgrünen, visuell stark an Epidot erinnernden Phase auffielen, stammen aus den Sammlungen von F. S., U. K. und Marius Utens. Oberflächlich zeigen viele der Schlackebrocken eine rötliche Farbe, die von dünnen, aus Sphärolithen aufgebauten Verwitterungskrusten von sekundären Natrium-Calcium-Vanadaten (siehe unten) herrührt. Alle nachgewiesenen Phasen werden im Folgenden in der Reihenfolge abnehmender Häufigkeit beschrieben.

### Liebenbergit

Oliv- bis grasgrüne, kurz- bis langprismatische, stark glasglänzende Kristalle mit einer Länge von max. 1 mm erwiesen sich überraschend als das Nickel-Endglied der Olivinfamilie, Liebenbergit. Nach den Analysen liegt die chemische Zusammensetzung der meisten Kristalle nahe der des Endglieds, nur z.T. konnten auch geringe Mg-Gehalte festgestellt werden. Die durchsichtigen Kristalle zeigen einen einfachen Habitus mit einer dachförmigen Endfläche, die auch extrem groß ausgebildet sein kann. Selten wurden Hohlkristalle beobachtet, ein Hinweis auf sehr schnelles Kristallwachstum.

### Ni<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>

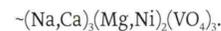


Die kleine Halde der „Liebenbergit-Schlacke“ von Agios Konstantinos. Foto F. Schreiber (2008).

### Ca-Na-(Mg,Ni)-Vanadat-Granat (z.T. Schäferit)

Eine relativ häufige Phase in der Schlacke zeigt dunkelrotbraune bis dunkelbräunliche, seltener auch schwärzliche oder gelbbraune, granatähnliche, isometrische Kristalle und Körner. Teilweise wurden auch bräunliche dendritisch-skelettartige Aggregate und napfartige Skelettkristalle beobachtet. Die Kristallindividuen erreichen Größen bis ca. 1,5 mm. Überraschend handelt es sich in der Tat um einen Granat.

Gemessene Gitterparameter [ $a = 12.3851(1) \text{ \AA}$ ], chemische Analysen und eine Kristallstrukturverfeinerung ergaben folgende vereinfachte chemische Formel:

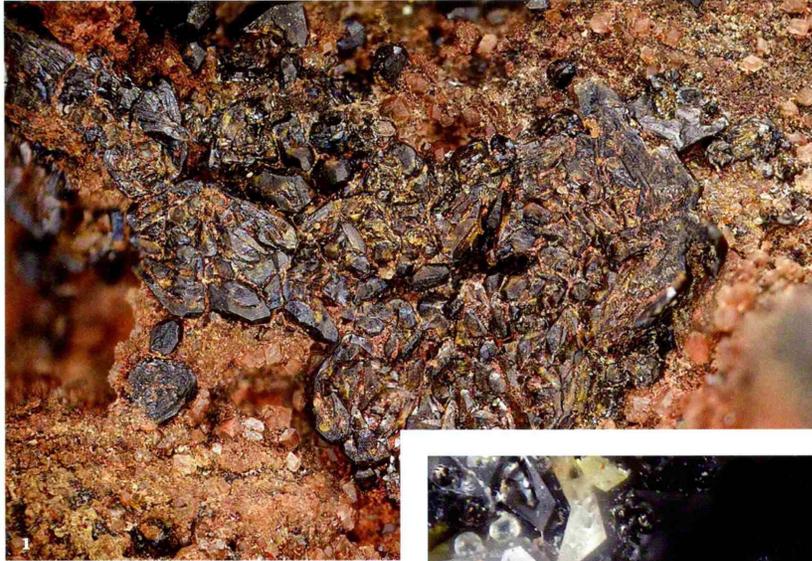


Selten waren auch Spuren von Fe, Zn, P und Si nachweisbar. Die Elementverhältnisse zeigen eine leichte Variabilität, insbesondere was die Mg:Ni- und Ca:Na-Verhältnisse angeht. Da in den Kristallen z.T. Na über Ca dominiert, ist die Phase nur teilweise mit dem Vanadat-Granat Schäferit  $[\text{Ca}_2\text{NaMg}_2(\text{VO}_4)_3]$  identisch. Quantitative chemische Analysen, die auch einen möglichen Zonarbau charakterisieren sollen, stehen derzeit noch aus. Ein reiner  $\text{Ca}_2\text{NaNi}_2(\text{VO}_4)_3$ -Granat ist bislang nur synthetisch bekannt (LIPIN & NOZIK, 1971).

### Trevorit

### NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Die Wände von kleinen Blasen Hohlräumen der Schlacke werden von schwarzen, scharfkantigen bis undeutlichen Oktaedern (max. 0,25 mm) ausgekleidet. Auch die dunkle Schlackenmatrix selbst besteht oft größtenteils aus dieser Phase. Die Analysen zeigen



1. Großes, skelettäres Kristallaggregat des Vanadat-Granats Schäferit aus der Liebenbergit-Schlacke von Agios Konstantinos. Bildbreite 6,5 mm. Sammlung NHM Wien. Foto H. Schillhammer.

2. Schwärzliche, flächenreiche Kristalle des Vanadat-Granats Schäferit aus der Liebenbergit-Schlacke von Agios Konstantinos. Die farblosen bis blässgelblich getönten Rhomboederchen sind ein Mineral der Whitlockitgruppe. Bildbreite 1,1 mm. Fund F. Schreiber. Foto H. Schillhammer.

3. Liebenbergit, das Nickel-Analogon von Forsterit, bildet olivgrüne, stark an Epidot erinnernde Kristalle in der Liebenbergit-Schlacke von Agios Konstantinos. Bildbreite 3,3 mm. Sammlung F. Schreiber. Foto H. Schillhammer.

ten, dass es sich um einen meist Al-reichen Trevorit handelt (Nickel-Eisen-Endglied der Spinellgruppe), der zusätzlich noch sehr wenig Mg, Cr(?), V, Ti und Si enthält. Der kubische Zellparameter eines Kristalls beträgt  $a = 8.21 \text{ \AA}$ .

### Mineral der Whitlockitgruppe

Ca-P-(V)-O

Auf Liebenbergit wie auch Trevorit sitzen eher selten spitzrhomboedrische, farblos-klare oder weißliche bis cremefarbene, dann mehr oder minder undurchsichtige Kriställchen, die bis 0,7 mm groß werden. Öfters sieht man auch napfförmige, meist cremeweiße Ausbildungen oder undeutliche blockige Formen. Auch hier ergab die Bestimmung wieder eine Überraschung. Nach den SXR- und chemisch-analytischen Daten zu mehreren Proben handelt es sich um ein Mineral der Whitlockitgruppe, das neben Ca und P untergeordnet auch etwas V, wenig Na und Mg sowie eine Spur Si enthält, z.T. auch Ni, S und La(!). Die Zellparameter betragen  $a = 10.47$  und  $c = 37.21 \text{ \AA}$ . Ob es sich um einen V-haltigen Whitlockit oder Merrillit handelt, müssen erst detailliertere Untersuchungen ergeben.

Eine Whitlockit-Phase wurde auch bei REM-Untersuchungen des Vanadat-Granats gefunden. Auf dendritisch ausgebildetem Granat saß ein einzelner, pseudo-oktaedrischer Kristall (siehe REM-Foto auf Seite 85).

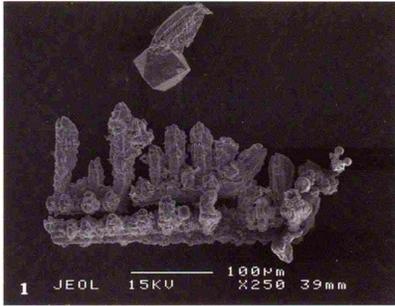
Woher das Phosphat kommt, das zur Entste-



hung dieses Whitlockitgruppenminerals geführt hat, ist ungeklärt (Phosphatminerale sind in Lavrion extrem selten).

### Nosean $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)$

Farblose bis weißliche, prismatische „Bohrkern-Zwillinge“ (visuell sehr ähnlich den Nosean-Zwillingen aus der Eifel) mit einer Größe von max. 1 mm entpuppten sich in



1. „Komet über Wald“, eine bizarre Bildung aus der „Liebenbergit-Schlacke“ bei Agios Konstantinos: der „Wald“ besteht aus dem Vanadat-Granat (im Original bräunlich), während der „Komet“ aus einem pseudo-oktaedrischen Kristall des Whitlockitgruppenminerals (im Original weißlich) mitsamt Vanadat-Granat-„Schweif“ zusammengesetzt ist. Fund M. Utens. REM-Foto U. Kolitsch & F. Brandstätter.

2. Nosean (ein „Bohrkern-Zwilling“ und rhombendodekaedrische Kristalle) aus der Liebenbergit-Schlacke von Agios Konstantinos. Das dunkle Begleitmineral ist der im Text erläuterte Vanadat-Granat. Bildbreite 1,5 mm. Sammlung NHM Wien. Foto H. Schillhammer.

der Tat als Nosean ( $a = 9.08 \text{ \AA}$ ; modulierte Struktur). Daneben treten auch scharfkantige, wasserklare bis trübe Rhombendodekaeder auf. Das Mineral ist eher selten und wird von Hochalbit und dem Vanadat-Granat begleitet.

### Albit (Hochalbit) $\text{Na}(\text{AlSi}_3)\text{O}_8$

Farblose, glasige, bis ca. 1 mm lange Stängel, die einen Teil der Matrix oder selten auch freistehende, farblose, lattig-prismatische Kriställchen bilden, konnten überraschend als Hochalbit (= Hochtemperaturmodifikation von Albit) bestimmt werden. Hochalbit ist stabil oberhalb von 700-800 °C und besitzt eine ungeordnete Si-Al-Verteilung; durch Abschrecken kann er metastabil bei Raumtemperatur erhalten bleiben. Der Nachweis dieser Phase zeigt daher, dass die



Schlackenschmelze Temperaturen von mindestens 700 °C erreicht hat. Außerdem ist durch den Nachweis von Albit und Nosean offensichtlich, dass das Ausgangsmaterial der Schlacke reich an Natrium gewesen sein muss - eventuell wurde bei der Verhüttung Meeressalz als Flussmittel hinzugefügt.

### $\text{Na}_{1.2}\text{V}_3\text{O}_8$

Langblättrige, dunkelrötlichbraune Aggregate, deren Aussehen stark an Goethit erinnerte, konnten durch die Analysen eindeutig als das bislang nur synthetisch bekannte

Natrium-Vanadium-Oxid  $\text{Na}_{1.2}\text{V}_3\text{O}_8$  identifiziert werden. Chemisch-analytisch waren keine Fremdelemente feststellbar. Die einzelnen Blätter werden bis 6 mm (!) lang und zeigen eine perfekte Spaltbarkeit. Bei sehr kleinen, schwärzlichen bis dunkelrötlichen, langtafeligen Kriställchen mit undeutlicher

3. Die dunkelrötlichbraunen, langblättrigen Aggregate der bislang nur synthetisch bekannten Na-V-Oxid-Phase  $\text{Na}_{1.2}\text{V}_3\text{O}_8$  sind leicht mit Goethit verwechselbar. Liebenbergit-Schlacke bei Agios Konstantinos. Bildbreite ca. 5 mm. Fund und Foto F. Schreiber.





**Schwärzliche Täfelchen des Nickel-Vanadats  $\text{Ni}_3(\text{VO}_4)_2$  aus der „Liebenbergit-Schlacke“ bei Agios Konstantinos. Begleiter sind rötlicher, krustiger Barnesit und winzige Hochalbit-Nädelchen (schwer zu erkennen). Bildbreite 5 mm. Slg. NHM Wien. Foto H. Schillhammer.**

Randbegrenzung, die einzeln verstreut auf der Oberfläche von Schlackebrocken sitzen, handelt es sich ebenfalls um  $\text{Na}_{1,2}\text{V}_3\text{O}_8$ . Die Phase ist hier ein Verwitterungsprodukt der V-reichen Schlacke, das auch zusammen mit den im Folgenden beschriebenen Vanadat-Mineralien vorkommt.

### $\text{Ni}_3(\text{VO}_4)_2$

Kleine (max. 0,5 mm), schwärzliche bis dunkelrotbraune, tafelige bis prismatische Kriställchen mit hohem Glanz entpuppten sich als das Nickel-Vanadat  $\text{Ni}_3(\text{VO}_4)_2$ , bisher aus Schlacken noch nicht beschrieben. Die z.T. pseudotetragonal erscheinenden Täfelchen sind oft unmittelbar vergesellschaftet mit farblosen kleinen Prismen von Hochalbit (SXR-bestätigt). Nur wenige mm entfernt sitzen schöne, dodekaedrische Vanadat-Granat-Kristalle.

### Barnesit $(\text{Na,Ca})\text{V}_6\text{O}_{16}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Offensichtlich durch Verwitterung der Schlacke gebildet, finden sich dunkelbraune bis bräunliche, kleine sphärolithische oder igelige Aggregate des Vanadatminerals Barnesit direkt auf der Liebenbergit-

Schäferit(?)-Trevorit-Matrix. Die Aggregate zeigen einen leichten seidigen Schimmer. Der Barnesit ist auf den der Verwitterung ausgesetzten Oberflächen aller Liebenbergit-Schlacke-Brocken zu finden, wodurch die „Liebenbergit-Schlacken“-Halde ihre rötliche Farbe erhält (!). EDS-Analysen an mehreren Proben ergaben V und stets etwas Na, das deutlich über Ca dominiert.

Auffällig waren variable Spurengehalte von ca. 10 weiteren Elementen, inklusive K, Mg und Cl. Pulverdiffraktometrische Aufnahmen zeigen eine ziemlich gute Übereinstimmung mit den Literaturdaten zu Barnesit, allerdings liegt der stärkste Peak bei grob

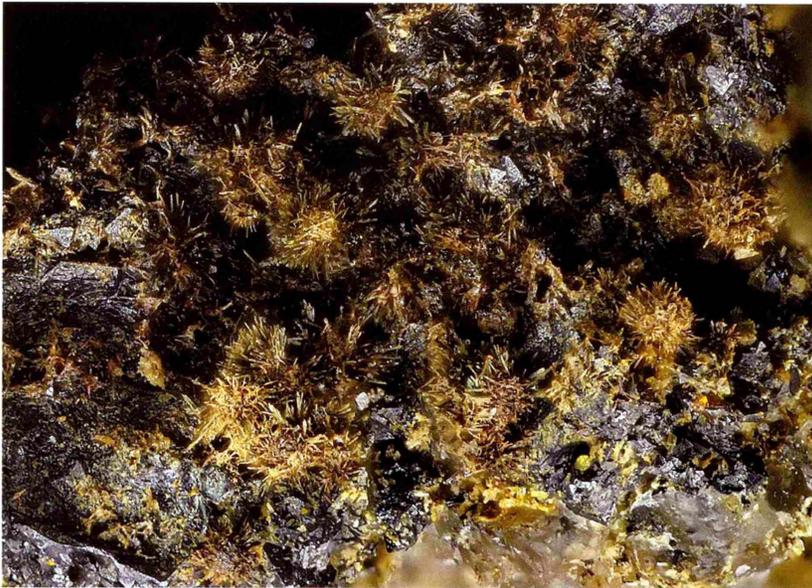
7,2-7,3 Å (Messgenauigkeit in diesem Bereich jedoch ziemlich gering), während der stärkste Peak von Barnesit laut Literaturangaben stets im Bereich 8,08-7,75 Å anzutreffen ist. Die starke Na-Dominanz in der Lavrion-Probe verursacht wahrscheinlich diese leichte Abweichung, da das Pulverdiagramm des Minerals vom Na:Ca-Verhältnis abhängt, das indirekt den Wassergehalt bestimmt (EVANS & HUGHES, 1990).

### Grantsit $(\text{Na,Ca})\text{V}_6\text{O}_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Sehr kleine dunkelbräunliche, igelige Aggregate (max. 0,3 mm) mit feinfaserig-radialstrahligem Aufbau und seidigem Glanz erwiesen sich als das chemisch dem Barnesit sehr ähnliche Vanadium-Mineral Grantsit. Die Röntgenpulverdaten stimmen sehr gut mit denen der Originalbeschreibung überein. Die vom Typmaterial abweichende Farbe ist auf geringfügig vorhandene Fremdelemente und deren Einfluss auf das (in diesem Mineral stark variable)  $\text{V}^{4+}:\text{V}^{5+}$ -Verhältnis zurückzuführen. Grantsit, bisher nur aus US-amerikanischen Fundstellen bekannt, benötigt für seine Entstehung leicht reduzierende Bedingungen und ist vielleicht aus diesem Grund in der Schlacke überaus selten.

**Das weitaus häufigste Verwitterungsprodukt der Liebenbergit-Schlacke bei Agios Konstantinos: das Natrium-Calcium-Vanadat Barnesit in Form rötlicher, kleiner Sphärolithe, die zu Krusten verwachsen sind. Bildbreite 5 mm. Sammlung NHM Wien. Foto H. Schillhammer.**





**Grantsit in dunkelbräunlichen, igeligen Aggregaten auf der Liebenbergit-Schlacke bei Agios Konstantinos. Bildbreite 2 mm. Fund M. Utens. Foto H. Schillhammer.**

### Mineral der Pascoitgruppe

Auf einigen Schlackebrocken fiel ein orangefarbenes, feinkristallines Mineral auf, das als rezente, wasserlösliche Verwitterungsbildung dünne Krusten mit glatter bis pusteliger Oberfläche bildet. Die Phase entsteht bevorzugt auf der witterungsgeschützten Unterseite von Schlackebrocken, typischerweise an kleinen, lokal begrenzten Stellen. Sie ist offensichtlich ein Ausscheidungsprodukt von Regenwasser, das Metall- und Vanadat-Ionen aus der Schlacke gelaugt hatte. Aufgrund der sehr geringen Materialmenge konnte die Identität der Phase noch nicht geklärt werden; eventuell handelt es sich um ein Gemenge verschiedener Mineralien (darunter Huemulit?).

### Funde aus den berühmten Bleischlacken

Auch aus den „normalen“ Blei-reichen Schlacken von Lavrion (z.B. GELAUE et al., 1996) konnten einige Neufunde gemacht werden, wie die folgenden Kurzbeschreibungen zeigen sollen. Zuerst werden in alphabetischer Reihenfolge Phasen charakterisiert, die einen Mineralnamen besitzen, und im Anschluß unbenannte und teilweise bislang völlig unbekannte Schlackenphasen.

### Aurichalcit $(\text{Zn,Cu})_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$

In der Lokalität Harakas 2007 gefundene blassbläuliche, grobblättrige, rundliche Pusteln (<1 mm) in einem einzelnen Blasen-hohlraum entpuppten sich als Aurichalcit.

### Cuspidin $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$

wurde von der Lokalität Puntazeza als primäre Schlackenphase nachgewiesen. Auf der rauhen Wandung eines kleinen blasigen Hohlraums sitzen sehr kleine (max. 0,3 mm), mehr oder minder freistehende, schwärzlich erscheinende Nadeln, die durch ihren hohen Glanz auffielen. Wie sich bei mikroskopischen Untersuchungen zeigte, wird die schwärzliche Farbe nur vorgetäuscht - die Nadelchen sind eigentlich farblos und der schwärzliche Farbeindruck wird durch zahllose Einschlüsse von winzigen schwarzen Körnern verursacht (Magnetit?). Die Genese des Calcium-Fluor-Silikats ist leicht zu erklären: in der grauschwarzen Schlackenmatrix sitzen vereinzelt farblose, bis 1 mm große Fluoritkörner, deren Spaltbarkeit nach dem Oktaeder gut erkennbar ist.

Die chemische Reaktion, die zur Cuspidin-Bildung führte, war also sehr einfach: Fluorit reagierte mit Quarz. Cuspidin wurde nach Kenntnis der Autoren bislang noch nicht aus alten Schlackenvorkommen beschrieben (er ist jedoch in modernen Fluor-reichen Industrieschlacken bekannt).

### Gearksutit $\text{Ca}[\text{Al}(\text{F,OH})_5(\text{H}_2\text{O})]$

Auf zwei 2011 bzw. 2013 bei der Lokalität Harakas (Charakas) gesammelten Proben fielen kleine weißliche, matte Kügelchen auf, die locker miteinander verwachsen sind und in einem Fall als letzte Bildung folgende Mineralien überkrusten: Phosgenit, Pseudoboleit (grünblaue, sehr kleine, dicktafelige, zu Krusten verwachsene Kriställchen; SXRD-analysiert) und Gips. Die leicht von ihrer Unterlage ablösbaren Kügelchen sind mit kugeligem Fluorit verwechselbar, der aber glattere Oberflächen zeigt.

Gearksutit aus alten Schlacken ist bislang nur von Waitschach, Kärnten/Österreich identifiziert worden (KOLITSCH et al., 2013); dort sehen die Aggregate sehr ähnlich aus. Aus den Lavrion-Schlacken waren interessanterweise bereits zwei chemisch ähnliche Mineralien beschrieben worden, zum einen das Calcium-Aluminium-Sulfat-Fluorid Credit (aus Sounion; SCHNORRER-KÖHLER et al., 1985), zum anderen das Calcium-Natrium-Aluminium-Fluorid Thomsenolith (aus einem nicht genau definierten Schlackenfundort; SCHNORRER-KÖHLER et al., 1988).

### Hedenbergit $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$

Dieses Eisen-Endglied der Klinopyroxenfamilie tritt als primäres Schlackenmineral auf. Seine spießigen, mit einer matt graugrünen, dicken Schicht überzogenen Kristalle sind im Anbruch schwärzlich. Neben den Elementen der Formel enthält der Hedenbergit noch mäßig Mg und Al sowie sehr wenig Zn, Na und Mn. Bereits JAXEL & GELAUE (1986) beschrieben einen nicht näher charakterisierten Klinopyroxen, den sie für ein wahrscheinliches Glied der Reihe Diopsid-Hedenbergit hielten. Die spießigen Kristalle sind stellenweise überwachsen von sekundär gebildetem Phosgenit und einem nicht untersuchten krustigen, hellblauen Mineral.

### Hidalgoit $\text{PbAl}_3(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH,H}_2\text{O})_6$

Am Schlackenfundpunkt Agios Nikolaos wurde 2010 eine kleine Probe gesammelt, die zum einen sehr kleine, dunkelbräunliche Kriställchen mit gerundeter, z.T. pseudo-oktaedrischer Ausbildung enthielt, zum anderen auffallend hellgelbliche, krustige bis korallenartige, durchscheinende Aggregate.

1. Ungewöhnlicher Neufund von der Schlacke in der Bucht von Charakas (Mai 2013): Das Calcium-Aluminium-Fluorid Gearsutit sitzt als Aggregate winziger weißlicher Kügelchen in einem Blasen-hohlraum. Bildbreite ca. 3 mm. Sammlung NHM Wien. Foto H. Schillhammer.

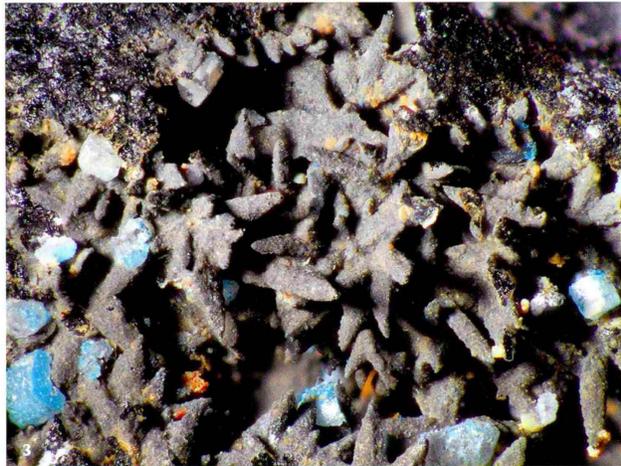


1

2. Ebenfalls aus der Bucht von Charakas: Gearsutit als Aggregate winziger weißlicher Kügelchen auf Phosgenit, Gips und Pseudoboleit (blaugrün). Fund (2011) & Sammlung F. Schreiber. Foto H. Schillhammer.



2

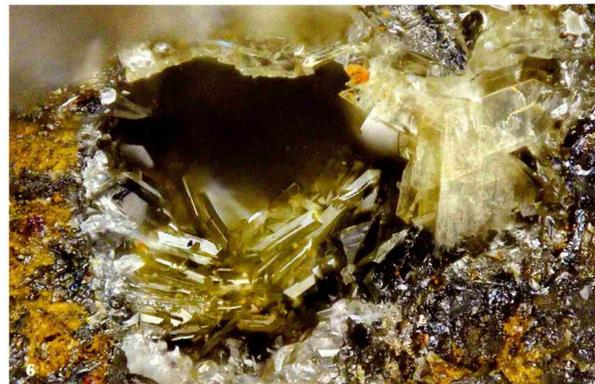


4

3. Primäres Schlackenmineral von Pacha Limani: Hedenbergit in Form spießiger, mit einer matt graugrünen, dicken Schicht überzogener Kristalle. Bildbreite 4 mm. Sammlung und Foto F. Schreiber.  
4. Kluoatacamit als grünliche, sechsseitige, ineinander orientiert verschachtelte Tafelchen auf einer orangegelben, blättrigen Tooeleit-Kruste. Schlacke von Agios Nikolaos; Fund (2011) und Sammlung F. Schreiber. Foto H. Schillhammer.



5



6

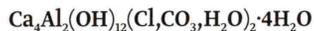
5. Blassrötliche, sechsseitige Hydrocalumit-Täfelchen, verwachsen zu kleinen Rosetten, ein Fund von Legrainia. Die begleitenden weißen Igel sind noch nicht vollständig bestimmt. Bildbreite 2,5 mm. Sammlung P. Hubert.  
6. Blassgelbe hochglänzende Valentinit-Täfelchen in subparalleler Anordnung. Schlackenfundstelle „Lavriion Hafen“. Sammlung F. Schreiber. Fotos H. Schillhammer.

Die Kriställchen sind nach den chemischen Analysen As-reicher Plumbojarosit (S:As ca. 3:1), der als Fremdelemente wenig K, Zn, Cu, Al und Si enthält. Demgegenüber entpuppten sich die hellgelblichen Krusten, die im Rasterelektronenmikroskop nur sehr undeutliche, tafelig-rosettenartige Kristallaggregate erkennen lassen, als zonare Bildungen, deren Zusammensetzungen z.T. einem Al-reichen Beudantit, z.T. einem Fe-reichen Hidalgoit entsprechen. Das As:S-Verhältnis ist in beiden Fällen leicht größer als das Idealverhältnis 1:1. Ansonsten sind die Krusten chemisch relativ rein, da nur Spuren von Si, Zn, Ca und P(?) nachweisbar waren. Es sei hier angemerkt, dass Beudantit aus den Schlacken von Lavrion bislang nur auf der Basis von PXRD-Daten beschrieben worden war (SCHNORRER-KÖHLER, 1986), was jedoch im Fall von Bleimischgliedern der Alunitfamilie unzuverlässig ist.

#### Hörnesit $Mg_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$

Aus der Schlacke von Agios Nikolaos stammt ein Fund des Magnesium-Arsenats Hörnesit. Die weißlichen, kugeligen Aggregate (max. 0,4 mm) zeigen einen radialstrahligen Aufbau und besitzen im Anbruch einen leicht schimmernden Glanz. Winzige, weiße kleine Büschel in unmittelbarer Nachbarschaft sind ebenfalls Hörnesit. Im Rasterelektronenmikroskop sind hier Gips-ähnliche Kristallformen gut erkennbar. Auch blaugraue, radialstrahlig aufgebaute Kugeln erwiesen sich als Hörnesit, in diesem Fall allerdings Fe-reich (Mischkristallbildung mit Parasymplesit).

#### Hydrocalumit



Dieses Mineral, Sammlern hauptsächlich durch Vorkommen in Ca-reichen Xenolithen in basaltischen Gesteinen bekannt (wie z.B. in der Eifel), bildet in einem einzelnen Blasenhohlraum blässrötliche (gefärbt durch winzige Einschlüsse), sechsseitige, rosettenförmig verwachsene Täfelchen. Die Schlackenprobe stammt von Legraina (Fund Peter Hubert, Wien). Die Größe der Hydrocalumit-Rosetten beträgt max. 0,8 mm. Die Kriställchen sind glasglänzend und durchscheinend. Auf dem gleichen Micromount wurde in einem Nachbarhohlraum die

mit Hydrocalumit verwandte Verbindung  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$  („Friedelsches Salz“) identifiziert (siehe weiter unten).

#### Klinoatacamit



Am Schlackenvorkommen Agios Nikolaos wurden 2011 Proben eines grünen Minerals gesammelt, die visuell nicht eindeutig zuzuordnen waren. Zur genaueren Untersuchung gelangten zwei Proben: a) ein Aggregat (ca. 0,7 mm) aus grünlichen, sechsseitigen, eindeutig verzwilligten Tafeln (orientiert verschachtelte Verwachsung) und b) dünne, blässgrünliche, mehr oder minder sechsseitige Täfelchen, die zu Gruppen verwachsen sind. In beiden Fällen ergab die SXRD-Untersuchung eindeutig Klinoatacamit. Das Mineral sitzt teilweise auf orangegelben Krusten des im Anschluss beschriebenen Tooeleits. Aufgrund des sechsseitigen Umrisses der Klinoatacamit-Täfelchen erinnern sie etwas an Chalkophyllit und andere grüne hexagonale/trigonale Cu/Zn-Sulfate. Mit Klinoatacamit sind nun fast alle der bekannten Kupferoxychloride aus den Schlacken Lavrions nachgewiesen (Atacamit, Paratacamit und Botallackit waren bereits beschrieben worden) - vorkommen könnten jedoch z.B. noch Anatacamit, Kapellazit und Herbertsmithit.

Zum von SCHNORRER-KÖHLER et al. (1982) beschriebenen und „eindeutig röntgenographisch“ nachgewiesenen Paratacamit ist anzumerken, dass es sich hierbei vielleicht ebenfalls um Klinoatacamit gehandelt haben könnte, da die damals zu Identifizierungen herangezogenen Röntgenbeugungsdaten von „Paratacamit“ (ICDD-PDF 25-1427) in Wahrheit den Daten des erst 1996 als neue

Mineralart beschriebenen Klinoatacamits entsprachen (vgl. JAMBOR et al., 1996).

#### Tooeleit $Fe_6(AsO_3)_4SO_4(OH)_4 \cdot 4H_2O$

Dieses ungewöhnliche Eisen-Arsenit-Sulfat bildet als Unterlage des zuvor beschriebenen Klinoatacamits orangegelbe bis orange, blätterige Krusten, die in Nachbarhohlräumen auch kleine, im Anbruch radialblättrige Kugeln bilden. Im Anbruch zeigen die Aggregate einen auffällig hohen Glanz, der auch gut erkennbar ist, wenn das Mineral auf schmalen Rissen aus Platzmangel nur flache, sonnenförmige Aggregate ausbilden konnte.

#### Valentinit



In einem MM von der Schlackenfundstelle „Lavrion Hafen“ fielen blässgelbe, subparallele Täfelchen auf, die zwar sehr klein sind (max. 0,3 mm), aber durch ihren hohen Glanz herausstachen. Auffällig war auch eine Querstreifung auf den Seitenflächen der durchsichtigen bis durchscheinenden Täfelchen. Der Verdacht auf Valentinit konnte dann röntgenografisch bestätigt werden. Unmittelbarer Begleiter des Antimonoxids ist Anglesit, der kleine (max. 0,5 mm), klare farblose bis blässgelbliche Kriställchen mit blockig-dipyramidalem, flächenreichem Habitus zeigt.

Valentinit ist neben Mammothit, Shakovit und Thorikosit das vierte Antimonmineral aus den Schlacken.

#### Orthorhombische Modifikation von Barstowit $Pb_4Cl_6(CO_3)_2 \cdot H_2O$

Farblose, sehr langgestreckte und büschelig angeordnete Nadeln einer „Barstowit“-Probe, die in Vrissaki 2007 gesammelt worden

**Visuell von nadelig-büscheligem Barstowit nicht zu unterscheiden: lange nadelige Kristalle der orthorhombischen Modifikation von Barstowit, hier vergesellschaftet mit typisch quergestreiften hexagonalen Penfieldit-Prismen. Bildbreite 6 mm. Fund 2007 von F. Schreiber in Vrissaki. Foto H. Schillhammer.**



war, entpuppten sich bei genauerer Untersuchung als eine bis dahin unbekannte orthorhombische Modifikation von Barstowitz. Ein kurzer Bericht über die Kristallstruktur dieser Modifikation und deren Raman-Spektrum wurde bereits bei einer Fachtagung veröffentlicht (KOLITSCH & PRISTACZ, 2009). Diese Phase, von Barstowitz visuell nicht zu unterscheiden, ist in Vrissaki mit großen Penfieldit-Prismen vergesellschaftet. Die neue Modifikation wurde auch in einer an diversen Bleihalogeniden ungewöhnlich reichen Schlacke von Waitschach, Kärnten, festgestellt (KOLITSCH & PRISTACZ, 2009; KOLITSCH et al., 2013). Begleitmineral ist dort hauptsächlich Phosgenit.

### $Pb_5(As^{3+}O_3)Cl_7$ , orthorhombisch

Diese Phase, ein Blei-Arsenit-Chlorid, wurde ursprünglich mit der Arbeitsbezeichnung „R42“ von PERCHIAZZI & REWITZER (1995) beschrieben, jedoch mit nur teilweise korrekten Zellparametern und einer falschen Raumgruppe. Fundort der Phase ist Pacha Limani.

Sie bildet dort farblose, hochglänzende kurze Prismen mit einer Länge bis 1,5 mm und einem pseudotetragonalen Habitus. Als Begleiter werden Fiedlerit-2M, Phosgenit und Georgiadestit aufgeführt.

Die Phase konnte vom Erstautor 2008 auf einer Schlackenprobe von Vrissaki identifiziert werden, und ihre bis dahin unbekannte Kristallstruktur wurde anhand dieser Probe gelöst. Herrn Christian Rewitzer hat daraufhin freundlicherweise eine Probe der Phase „R42“ zur Verfügung gestellt, die die Identität des Materials bestätigte.

Auf der Probe von Vrissaki bildete die Phase eine einzelne farblose Nadel in einem großen Hohlraum mit viel Phosgenit. Daneben enthielt die Probe kleine hochglänzende Matlockit-Täfelchen und etwas Cerussit (alle SXRD-analysiert). Die Probe der Phase „R42“ von Pacha Limani enthält mehrere millimetergroße farblose, blockige Kristalle, die durchsichtig sind und eine gute Spaltbarkeit aufweisen. Einziger Begleiter ist Fiedlerit (1A-Polytyp nach SXRD-Untersuchungen), der kleine farblose, hochglänzende Kriställchen mit langtafeligem bis prismatischem Habitus und rautenförmigem Querschnitt bildet.



1. Das in einer Schlacke von Pacha Limani gefundene Blei-Arsenit-Chlorid  $Pb_5(As^{3+}O_3)Cl_7$  bildet farblose, blockige Kristalle mit hohem Glanz, hier in Vergesellschaftung mit kleinen, lang-tafeligen bis prismatischen Fiedlerit-Kriställchen (1A-Polytyp). Fund C. Rewitzer.

2. Die neue rhomboedrische Schlackenphase  $Pb_5Cu(AsO_4)_2Cl$  bildet scharfkantige sechsseitige Täfelchen aus und ist visuell leicht mit Hydrocerussit und verwandten Blei-Karbonaten zu verwechseln. Fund 2002 Hafen Lavrion. Bildbreite 3 mm. Sammlung NHM Wien.

3. Die neue Schlackenphase  $Pb_9(H_2O)_3(As_2O_5)_2Cl_{10}$  (Blei-Diarsenit-Chlorid) zeigt büschelige Aggregate aus lattigen, deutlich längsgestreiften Kriställchen. Bildbreite 1 mm. Sammlung NHM Wien. Fotos H. Schillhammer.

Agardit-(Nd)	PEKOV et al. (2010)	Khademit	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)	„Sophiit“	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009) [fraglich, siehe Text]
Alumino-pharmakosiderit	MÖCKEL (2000)	Klinoatacemit	MÖCKEL (2000)	Stannit	SKARPELIS (2007), TOMBROS et al. (2010)
Argentit	TOMBROS et al. (2010)	Krausit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Stibiconit	SOLOMOS et al. (2004)
Arsenogoyazit	SCHNEIDER (2001)	Kyrgyzstanit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	„Strashimirit“	MÖCKEL (2000), GRÖBNER & KOLITSCH (2002)
Attikait	CHUKANOV et al. (2007)	Lahnsteinit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Takovit	NIEDERMAYR & BRANDSTÄTTER (2001)
Baileychlor <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Langisit	TOMBROS et al. (2010)	Talnakhit	MÖCKEL (2001)
Barahonait-(Al) <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Lansfordit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Tenorit <sup>3</sup>	dieser Artikel
Bastnäsit-(La)	GRÖBNER & KOLITSCH (2002)	Lillianit	VOUDOURIS & ECONOMOU-ELIOPOULOS (2003), SKARPELIS (2007)	Tetradymit	LELEU et al. (1973)
Bieberit	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)	Lotharmeyerit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Todorokit <sup>3</sup>	MÖCKEL (2000) [auch bereits in VOURLAKOS (1992) erwähnt], dieser Artikel
Bobkingit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Mackinawit	TOMBROS et al. (2010)	Uklonskovit	MÖCKEL (2000)
Brandtit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel	Magnesiocopiapit	MÖCKEL (2001)	Ustarasit	VOUDOURIS (2005)
Brucit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Magnetit	ECONOMOU et al. (1981)	Veenit	VOUDOURIS et al. (2008a)
Bukovskýit	WENDEL (2000)	Manganarsit	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)	Vladimirit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel
Chalcosiderit	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)	Manjiroit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Wallkilldellit-(Mn)	MÖCKEL (2001)
Claudetit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel	Matildit	VOUDOURIS et al. (2008b)	Willemseit	MÖCKEL (2000)
Cornubit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Metasideronatrit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel	Woodruffit	MÖCKEL (2001)
Cosalit	GRÖBNER & KOLITSCH (2002)	Miargyrit <sup>2,3</sup>	VOUDOURIS et al. (2008a), dieser Artikel	Zaccagnait	WITZKE & RAADE (2000)
Cumengeit	GRÖBNER & KOLITSCH (2002)	Molybdänit	VOUDOURIS et al. (2008a)	Zálesiit	WITZKE & GÖSKE (2000), GRÖBNER (2001)
Cuprocopiapit	WENDEL (2000)	Monetit	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)	Zdenekit	MÖCKEL (2001)
Dietrichit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Moorhouseit	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)	Zinkolivenit	CHUKANOV et al. (2007)
Drobecit	GIESTER & RIECK (2010)	Mummeit	VOUDOURIS & ECONOMOU-ELIOPOULOS (2003)	Unbestimmtes Na-Ca-Arsenat <sup>3</sup>	dieser Artikel
Emplektit	VOUDOURIS & ECONOMOU-ELIOPOULOS (2003)	Nakauriit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Unbenanntes Ca <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (HASO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·5H <sub>2</sub> O (triklin) <sup>2,3</sup>	dieser Artikel
Ferrilotharmeyerit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Nickel-lotharmeyerit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel	Unbenanntes Fe-Analogon von Brandtit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel
Geokronit	VOUDOURIS & ECONOMOU-ELIOPOULOS (2003)	Nuffeldit	TOMBROS et al. (2010); VOUDOURIS (2005) („Argentonuffeldite“)	Unbenanntes Fe-Analogon von Parabrandtit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel
Georgeit	SOLOMOS et al. (2004)	Osakait <sup>1,3</sup>	dieser Artikel	Unbenanntes Zn <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> )(OH) <sub>6</sub> ·4H <sub>2</sub> O <sup>2,3</sup>	dieser Artikel
Glaukodot	TOMBROS et al. (2010)	Paralaurionit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel	Unbenanntes Zn <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>12</sub> Cl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O <sup>2,3</sup>	KOLITSCH & GIESTER (2013), dieser Artikel
Goldichit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel	Pearceit	TOMBROS et al. (2010)	Bestimmungsmethoden:	
Goyazit	MÖCKEL (2000)	Pecorait	MÖCKEL (2000)	<sup>1)</sup> PXRD-Analyse	
Halloysit	MÖCKEL (2000) [aber bereits in LANG (1890) erwähnt]	Peretait	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)	<sup>2)</sup> SXRD-Analyse	
Hedenbergit	ECONOMOU et al. (1981)	Petrukit	VOUDOURIS & ECONOMOU-ELIOPOULOS (2003)	<sup>3)</sup> REM-EDS-Analyse	
Herbertsmithit	KRAUSE et al. (2006)	Philipsbornit	CHUKANOV et al. (2007)	<sup>4)</sup> Thermogravimetrie	
Heteromorphit	VOUDOURIS et al. (2008a)	Preisingerit	SOLOMOS et al. (2004)	Anmerkungen: Der jeweils genaue Fundort, der in den einzelnen Zitaten zu den bereits publizierten Mineralarten aufgeführt wird, ist auf mindat.org angegeben. Gesteinsbildende Mineralien, davon einige kurz in SCHREIBER & HAMMER (2007) beschrieben, sind nicht aufgelistet.	
Heyrovskýit	VOUDOURIS & ECONOMOU-ELIOPOULOS (2003)	Ralstonit	GRÖBNER & KOLITSCH (2002)		
Hilarionit	PEKOV et al. (2012)	Ramdohrit	VOUDOURIS et al. (2008b)		
Hohmannit	MÖCKEL (2001)	Richelsdorfit <sup>3</sup>	dieser Artikel		
Hydrohetaerolith <sup>2,3,4</sup>	MÖCKEL (2001), dieser Artikel	Rostit	SKARPELIS & ARGYRAKI (2009)		
Illit	MÖCKEL (2000) [aber bereits in HEYMANN (1982) erwähnt]	Sclarit	SCHNORRER (2004)		
Kamarizait	CHUKANOV et al. (2010)	Semseyit	VOUDOURIS et al. (2008a)		
„Kankit“	WENDEL (2000) [fraglich, siehe Text]	„Shubnikovit“?	WENDEL (2000), GRÖBNER & KOLITSCH (2002)		
Kaolinit	MÖCKEL (2000) [aber bereits in GRODIG & GRODIG 1978) erwähnt]	Sideronatrit <sup>2,3</sup>	dieser Artikel		
Kapellisit	KRAUSE et al. (2006)	Slavikit	MÖCKEL (2001)		
		Slavkovit <sup>1,3</sup>	dieser Artikel		

Tabelle 1. Ergänzungen zur Liste der aus den Gruben von Lavrion bekannten Mineralien (vergl. WENDEL &amp; WENDEL, 1999).

Unabhängig von den Autoren hatten sich auch russische Forscher mit der Phase beschäftigt und ihre Kristallstruktur dann kürzlich beschrieben (SIIDRA et al., 2011). Die Probe der Kollegen aus Russland wurde 2009 an der Küstenlinie des Schlackenvorkommens Punta Zeza (3 km südlich Lavrion) gefunden. Begleiter sind nach SIIDRA et al. (2011) Phosgenit und die im Folgenden beschriebene Phase  $Pb_5(AsO_3)Cl_2$ .

### $Pb_2(HAsO_3)Cl_2$ , monoklin

Über ein weiteres, synthetisch bereits bekanntes Blei-Arsenit-Chlorid von Punta Zeza berichteten kurz SIIDRA et al. (2012). Diese für Lavrion neue Phase bildet farblose, durchsichtige Prismen mit einer Länge von max. 0,7 mm. Sie wurde bislang von uns nicht gefunden.

### $Pb_9(H_2O)_3(As_2O_5)_2Cl_{10}$ , monoklin

Eine weitere neue Schlackenphase fand sich auf einem lediglich mit „Lavrion“ beschrifteten Micromount (Einzelfund vor 1989). Die Phase bildet lattige, deutlich längsgeriffelte, farblos-weißliche Kriställchen (max. 0,5 mm), die subparallel-strahlig zu aufblättern den Aggregaten verwachsen sind, deren Erscheinungsbild zuerst an Hemimorphit denken ließ. Die chemische Formel, auffällig durch das Auftreten einer im Mineralreich sehr seltenen Diarsenitgruppe ( $As_2O_5$ ), beruht auf einer vorläufigen Kristallstrukturanalyse. Die Phase ist monoklin und mikroverzwilligt [Raumgruppe  $P2_1/m$ ,  $a = 8.760(2)$ ,  $b = 14.214(3)$ ,  $c = 12.894(3)$  Å,  $\beta = 105.33(3)^\circ$ ]. Als Begleiter treten in einem anderen Hohlraum blockige Kristalle der oben erwähnten, chemisch ähnlichen Schlackenphase  $Pb_5(AsO_3)Cl_2$ , auf.

### $Pb_6Cu(AsO_3)_2Cl_2$ , rhomboedrisch

Eine Überraschung in Form einer weiteren neuen, Kupfer-haltigen Blei-Arsenit-Chlorid-Phase ergaben die Untersuchungen von Schlackenmaterial, das 2002 von Hannes Osterhammer in Cu-reichen Schlacken gesammelt wurde, die während des Umbaus des Hafens von Lavrion aufgeschlossen waren. Charakteristisch für die ungewöhnliche Phase sind kleine, farblos-klare, sechseitige Plättchen mit hohem, fettigem Glanz. Die Plättchen sind randlich durch Rhombo-

ederflächen begrenzt. Bei oberflächlicher Betrachtung erscheinen sie ziemlich ähnlich Hydrocerussit und der weiter unten beschriebenen, mit Hydrocerussit verwandten Phase, allerdings fehlt jeglicher Perlmutt-glanz.

Die chemische Formel der neuen Schlackenphase wurde durch eine Kristallstrukturanalyse bestimmt [Raumgruppe  $R-3$ ,  $a = 9.868(1)$ ,  $c = 34.214(7)$  Å]. Eine synthetische, als Dimorph anzusehende Phase wurde interessanterweise von PERTLIK (1986) beschrieben. Obwohl sie die gleiche chemische Formel und Raumgruppe besitzt, ist der Zellparameter  $c$  halbiert. Die Unterschiede zwischen den beiden Kristallstrukturen sind sehr gering, aber vorhanden.

In benachbarten Hohlräumen treten braunrötliche Büschel aus nadelig-lattigen, hochglänzenden Nealit-Kriställchen (SXRD-analysiert) auf, die von dicktafeligem Phosgenit begleitet werden, darüber hinaus auch gediegen Kupfer auch gediegen Kupfer und blockige Kristalle der oben erwähnten

Schlackenphase  $Pb_5(AsO_3)Cl_2$ . Weitere Begleitphasen sind bislang nicht identifiziert und scheinen ebenfalls neue Verbindungen darzustellen.

### $NaPb_2(CO_3)_2(OH)$ , trigonal

Ebenfalls aus den 2002 gesammelten Schlacken vom Hafen Lavrion stammt dieses Natrium-Blei-Carbonat-Hydroxid, das als synthetische Phase bekannt ist und auch aus drei Schlackenvorkommen in Deutschland nachgewiesen wurde (BLASS & GRAF 1993, 1995). Das Carbonat bildet blassgelbliche, spitze, hexagonale Pyramiden ( $< 0,5$  mm) mit leichter Querstreifung und hohem Glanz. Die teilweise abgeplatteten Kriställchen sind durchsichtig bis durchscheinend und neigen zur Parallelverwachsung. Sie sitzen ohne weitere Begleitphase auf einer dünnen weißlichen Kruste. Die Zellparameter ( $a = 5.76$ ,  $c = 46.8$  Å) stimmen gut überein mit den Daten von synthetischem Material (BROOKER et al. 1983, BELOKONEVA et al. 2002).

Tabelle 2. Ergänzungen zur Liste der von Lavrion bekannten Schlackenminerale.

<b>Akanthit</b>	VAN KALMTHOUT (2012)	<b>Unbenannte Schlackenphasen</b>	
<b>Albit (Hochalbit)<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel	<b>Ca-Na-(Mg,Ni)-Vanadat-Granat (z.T. Schäferit)<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Aurichalcit<sup>3</sup></b>	dieser Artikel	<b><math>Ni_3(VO_4)_2</math><sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Barnesit<sup>1,3</sup></b>	dieser Artikel	<b><math>Na_2V_3O_8</math><sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Cuspidin<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel	<b>Orthorhombische Modifikation von Barstowitz<sup>2,3</sup></b>	KOLITSCH & PRISTACZ (2009), dieser Artikel
<b>Elyit*</b>	VAN KALMTHOUT (2012)	<b><math>Pb_5(As^+O_3)Cl_2</math><sup>2</sup></b>	SIIDRA et al. (2011), dieser Artikel
<b>Gearsutit<sup>1</sup></b>	dieser Artikel	<b><math>Pb_2(HAsO_3)Cl_2</math></b>	SIIDRA et al. (2011)
<b>Grantsit<sup>1,3</sup></b>	dieser Artikel	<b><math>Pb_9(H_2O)_3(As_2O_5)_2Cl_{10}</math><sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Hedenbergit<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel	<b><math>Pb_8Cu(AsO_3)_2Cl_2</math><sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Hidalgoit<sup>3</sup></b>	dieser Artikel	<b><math>NaPb_2(CO_3)_2(OH)</math><sup>2</sup></b>	dieser Artikel
<b>Hörnesit<sup>1,3</sup></b>	dieser Artikel	<b>Pb-Fe-As-Cl-O-H-Phase<sup>1,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Hydrocalumit<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel	<b>Hydrocerussit-verwandte Phase<sup>2,3</sup></b>	KOKKOROS & VASSILIA DIS (1953); dieser Artikel
<b>Klinoatacamit<sup>2</sup></b>	dieser Artikel	<b>Unbenanntes Zn-Analogon von Schulenbergit<sup>1,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Liebenbergit<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel	<b><math>3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O</math> („Friedel-sches Salz“)<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel
<b>Nosean<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel		
<b>Pascoitgruppe<sup>1,3</sup></b>	dieser Artikel		
<b>Pyrit</b>	VAN KALMTHOUT (2012); René Vandenbosch, pers. Mitt., 2012 (Fund 2005 in Passa Limani); Marius Utens, pers. Mitt., 2012 (Fund 2000 in Harakas)		
<b>Spangolith</b>	VAN KALMTHOUT (2012)		
<b>Tooeleit<sup>1</sup></b>	dieser Artikel		
<b>Trevorit<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel		
<b>Valentinit<sup>2</sup></b>	dieser Artikel		
<b>Whitlockitgruppe<sup>2,3</sup></b>	dieser Artikel		
* Elyit ist auch aus Bleioxid-Material (Lithargit u.a.) von Röstöfen im Landesinneren bekannt.		<b>Bestimmungsmethoden:</b> <sup>1)</sup> PXRD-Analyse <sup>3)</sup> REM-EDS-Analyse <sup>2)</sup> SXRD-Analyse	



### Pb-Fe-As-Cl-O-H-Phase

Eine neue Schlackenphase wurde bei der Untersuchung von zwei „Feroxyhyt“- und zwei „Lepidokrokite“-Proben identifiziert. Sie zeigt ein recht charakteristisches Aussehen: braunorange Pusteln bis Rosetten, die aus winzigen sechsseitigen Täfelchen bestehen. Diese Aggregate sind oft zu braunroten, dünnen Krusten verwachsen. Im Anbruch erkennt man den blätterigen Aufbau und goldbraun glänzende, an Arseniosiderit (Ca-Fe-Arsenat) erinnernde Spaltflächen. Das Röntgenpulverdiagramm der neuen Phase ist in der Tat ähnlich dem eines Arseniosiderit-verwandten Minerals (WALENTA 1998, 2006).

In benachbarten Blasenhöhlräumen wird die Pb-Fe-As-Cl-O-H-Phase von Cerussit und anderen Pb-Mineralien begleitet. Das Erscheinungsbild der neuen Phase macht etwas verständlich, dass sie mit oxidischen Fe-Mineralien wie Feroxyhyt oder Lepidokrokite verwechselt wurde. Allerdings ist der Glanz auf Bruchflächen doch ein anderer.

Angemerkt sei, dass Feroxyhyt als rotbraune Krusten neben Aragonit von Pacha Limani röntgenografisch identifiziert wurde (SCHNORRER-KÖHLER et al., 1985).

### Hydrocerussit-verwandte Phase

#### Pb-CO<sub>3</sub>-O-H

Diese Phase hat eine in Vergessenheit geratene Vorgeschichte: bereits 1953 beschrieben KOKKOROS & VASSILIADIS eine Hydrocerussit-verwandte Phase mit einer primitiv-hexagonalen Elementarzelle ( $a \sim 5.24 \text{ \AA}$ ,  $c \sim 29.46 \text{ \AA}$ , umgerechnet aus den angegebenen kX-Werten); eine chemische Analyse wurde damals nicht durchgeführt. Die Phase soll nach den Autoren in den Lavrion-Schlacken viel häufiger als Hydrocerussit sein. Diese Phase wurde nun auch vor ca. 6 Jahren als neue Schlackenverbindung unabhängig vom Erstautor und Prof. Dr. Christian Lengauer (pers. Mitt., 2006) (wieder-)erkannt, die Kristallstruktur konnte aber bislang nicht gelöst werden. Mittlerweile wurden weitere „Hydrocerussite“ aus verschiedenen

### Schlackenstücke im Ufersand der Charakas-Bucht, fotografiert im Mai 2013 von I. Prachař.

Lavrion-Schlackenfundpunkten mittels SXRD-Analysen untersucht, wovon sich die große Mehrzahl als diese neue Hydrocerussit-verwandte Phase herausstellte ( $a = 5.24\text{--}5.25 \text{ \AA}$ ,  $c = 29.38\text{--}29.50 \text{ \AA}$ ). Der Zellparameter  $c$  liegt interessanterweise näher an dem von Plumbonacrit ( $c \sim 24.7\text{--}24.9 \text{ \AA}$ ) als an dem von Hydrocerussit ( $c \sim 23.7 \text{ \AA}$ ), während der Zellparameter  $a$  aller drei Phasen annähernd identisch ist. EDS-Analysen einer repräsentativen Probe ergaben neben Pb noch Spuren von Ca und Na. Auffällig war, dass die Phase öfters in einer Ca-reicher Umgebung (Schlacken mit viel Fluorit und Calcit) anzutreffen ist. Womöglich wirkt das Ca stabilisierend auf diese Phase.

Es sei hier auch erwähnt, dass JAXEL & GELAUE (1986) ein „Unbekanntes dünnblättriges Mineral“ beschreiben, das farblose bis weißliche, undeutlich sechsseitige Täfelchen bildet, die beschädigtem Hydrocerussit

ähnlich sehen sollten. Die Röntgenbeugungsdaten sollen denen von Hydrocerussit und Plumbonacrit ähneln. Möglicherweise ist die Phase auch identisch mit einem von GROLIG & GROLIG (1978) nach einem unveröffentlichten Manuskript von G. Hentschel beschriebenen, unbekanntem Schlackenmineral aus Lavrion, das „deutlich sechsseitige Täfelchen zeigt, kombiniert mit sechsseitiger Dipyramide, die dem Hydrocerussit ähnlich sind; das Röntgendiagramm ist aber deutlich unterschiedlich“.

Da Hydrocerussit nicht allzu selten in den Verwitterungszonen von Bleierzlagerstätten ist, sollte auch diese Hydrocerussit- bzw. Plumbonacrit-verwandte Phase als natürlich vorkommendes Bleisekündärmineral auf Halden oder in Stollen von Bleivererzungen vorkommen.

### Unbenanntes Zn-Analogon von Schulenbergit



Von der Schlackenlokalität Harakas (Charakas) stammen Funde dieses sekundären Zinkminerals. Die blassgrün-bläulichen, wirr zu Krusten verwachsenen Täfelchen (max. 0,2 mm) sind sechsseitig begrenzt, eher undeutlich ausgebildet und (wie auch Schulenbergit) oft gekrümmt. Die Kriställchen sind trüb und zeigen Anzeichen von teilweiser Entwässerung. Eine chemische Analyse ergab nur eine leichte Dominanz von Zink gegenüber Kupfer (ca. 1,1:1). Einzige Fremdelemente waren Al und Si (beide spurenhafte).

In einem Nachbarblasenhohlraum sitzen interessanterweise hell- bis dunkelrote, kleine, tetragonale Täfelchen von Lithargit (SXRD-analysiert).

### $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ („Friedelsches Salz“), rhomboedrisch/monoklin

„Friedelsches Salz“ (engl. Friedel's Salt), als synthetische Phase erstmals 1897 von dem französischen Mineralogen und Kristallographen Georges Friedel hergestellt, ist eine mit Hydrocalumit verwandte Phase, die von großer technischer Bedeutung in ausgehärtetem Zement ist (sogenannte  $\text{AF}_m$ -Phase). In der Legrain-Schlackenprobe, die den weiter oben beschriebenen Hydrocalumit enthält, fanden sich in einem benachbarten

Blasenhohlraum wenige pseudo-oktaedrische, farblose, blassgelbliche bis intensiv rötliche parkettierte Kriställchen (max. 0,5 mm). Die rötliche Färbung ist, wie beim Hydrocalumit, durch winzige Einschlüsse verursacht (EDS-analytisch sind geringe Fe-Gehalte nachweisbar).

Der pseudo-oktaedrische Habitus wird durch eine Kombination aus dreieckiger Basisfläche und einer Rhomboederfläche hervorgerufen. Die rhomboedrischen Zellparameter  $a = 5,76$  und  $c = 46,8 \text{ \AA}$  stimmen gut mit den Literaturdaten überein (RENAUDIN et al., 1999; RAPIN et al., 2002). Auch aus einem französischen Vorkommen, Mine des Rats (Le Crozet, La Pacaudière, Loire, Rhône-Alpes), konnte die Verbindung durch den Erstautor kürzlich in Form farbloser, sechsseitiger Täfelchen nachgewiesen werden (CHOLLET & DEVOUARD, 2013). Die Probe von Legrain scheint über mehrere Monate hinweg leicht zu entwässern (oder  $\text{CO}_2$  aufzunehmen?), da die Kristalle danach etwas aufgeblättert waren.

Am „Friedelschen Salz“ ist interessant, dass es laut Literatur einen Phasenübergang bei  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  vollzieht, der jedoch von chemischen Verunreinigungen beeinflusst werden kann. Diese Verunreinigungen, so z.B. die Chlor-Ionen ersetzenden Carbonat-Ionen, senken die Phasenübergangstemperatur. Die Tatsache, dass das „Friedelsche Salz“ bislang noch nicht als natürlich vorkommendes Mineral beschrieben wurde, erscheint überraschend (theoretisch könnte es z.B. in Cl-haltigen oder -beeinflussten Kalkxenolithen vorkommen).

### Dank

Wir danken den Sammlern Marius Utens (Echt/NL), Werner Mühlbauer (Burgenland/A) und Stefan Moser (Eisenstadt/A) für Untersuchungsmaterial. Prof. Panagiotis Voudouris (Athen/GR) und Piet van Kalmt-hout (Nijmegen/NL) haben uns hilfreiche Informationen geliefert. Wir danken außerdem Prof. Dr. Gerald Giester und Dr. Michael A. Göttinger, beide Institut für Mineralogie und Kristallographie der Uni Wien, für die Hilfe bei der SXRD-, PXRD- und EDS-analytischen Bestimmung einiger Mineralien. Für EDS- und PXRD-Analysen einiger Proben

eines der Autoren (K. H. F.) und für ein Schlackenfoto danken wir Ivan Prachař (Prag/CR). Der Erstautor ist dem Institut für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien (ehem. Institutsvorstand emer. Prof. Dr. Ekkehart Tillmans und derzeitiger Institutsvorstand Prof. Dr. Lutz Nasdala) für die Möglichkeit zur Durchführung mineralogischer Untersuchungen zu Dank verpflichtet.

### Literatur

- BEAR, I. J.; GREY, I. E.; MADSEN, I. C.; NEWNHAM, I. E.; ROGERS, L. J. (1986): Structures of the basic zinc sulfates  $3\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{ZnSO}_4 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ,  $m = 3$  and  $5$ . - Acta Crystallogr. **B42**, 32-39.
- BELOKONEVA, E. L.; AL'AMA, A. G.; DIMITROVA, O. V.; KURAZHKOVSKAYA, V. S.; STEFANOVICH, S. Y. (2002): Synthesis and crystal structure of new carbonate  $\text{NaPb}_2(\text{CO}_3)_2(\text{OH})$ . - Crystallography Reports **47**, 217-222.
- BLASS, G.; GRAF, H. W. (1993): Neue Funde. - MINERALIEN-Welt **4** (2), 57-60.
- BLASS, G.; GRAF, H. W. (1995): Neufunde von Schlackenhalde in der nördlichen Eifel (II). - MINERALIEN-Welt **6** (3), 28-31.
- BONSALL, T. A.; SPRY, P. G.; VOUDOURIS, P. C.; TOMBROS, S.; SEYMOUR, K. S.; MELFOS, V. (2011): The geochemistry of carbonate-replacement Pb-Zn-Ag mineralization in the Lavrion district, Attica, Greece: fluid inclusion, stable isotope, and rare earth element studies. - Econ. Geol. **106**, 619-651.
- BROOKER, M. H.; SUNDER, S.; TAYLOR, P.; LOPATA, V. J. (1983): Infrared and Raman spectra and x-ray diffraction studies of solid lead(II) carbonates. - Can. J. Chem. **61**, 494-502.
- BURNS, P. C.; ROBERTS, A. C.; NIKISCHER, A. J. (1998): The crystal structure of  $\text{Ca}[\text{Zn}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2\text{Cl}_2](\text{H}_2\text{O})_8$ , a new phase from slag dumps at Val Varena, Italy. - Eur. J. Mineral. **10**, 923-930.
- CATTI, M.; IVALDI, G. (1981): Mechanism of the reaction  $\text{Ca}_3\text{H}_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (ferrarisite)  $\rightarrow$   $\text{Ca}_3\text{H}_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (dimorph of vladimirite) and structure of the latter phase. - Z. Kristallogr. **157**, 119-130.
- CESBRON, F. P.; WILLIAMS, S. A. (1992): Tooeleite, a new mineral from the U.S. Mine, Tooele County, Utah. - Mineral. Mag. **56**, 71-73.
- CHOLLET, P.; DEVOUARD, B. (2013): La mine de cuivre et de plomb des Rats, Le Crozet (Loire). - Le Règne Minéral **109**, 7-46.
- CHUKANOV, N. V.; PUSHCHAROVSKY, D. Y.; ZUBKOVA, N. V.; PEKOV, I. V.; PASERO, M.; MERLINO, S.; MÖCKEL, S.; RABADANOV, M. K.; BELAKOVSKIY, D. I. (2007): Zincolivenite  $\text{CuZn}(\text{AsO}_4)(\text{OH})$ : A new adamite-group mineral with ordered distribution of Cu and Zn. - Doklady Earth Sciences **415A**, 841-845.
- CHUKANOV, N. V.; PEKOV, I. V.; ZADOV, A. E. (2007): Attikaite,  $\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{Al}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral species. - Geology of Ore Deposits **49**, 720-726.
- CHUKANOV, N. V.; PEKOV, I. V.; MÖCKEL, S.; MUKHANOVA, A. A.; BELAKOVSKIY, D. I.; LEVITSKAYA, L. A.; BEKENOVA, G. K. (2010): Kamarizaitite,  $\text{Fe}^{3+}(\text{AsO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral species, arsenate analogue of tinctite. - Geology of Ore Deposits **52**, 599-605. [Engl. Übersetzung von CHUKANOV et al. (2009): Zapiski RMO **138**, 100-108.]
- ECONOMOU, M.; SKOUNAKIS, S.; PAPANATHASSIOU, C. (1981): Magnetite deposits of skarn type from the Plaka area of Laurium, Greece. - Chemie der Erde **40**, 241-252.
- EVANS, H. T. JR.; HUGHES, J. M. (1990): Crystal chemistry of the natural vanadium bronzes. - Am. Mineral. **75**, 508-521.
- FORRESTER, I.; YOUNG, P. (2005): The sea level over the past

- two millennia. - Proc. Climat. Soc. Spec. Publ., Vol. 4, 29-49.
- GELAUE, P.; VAN KALMTHOUT, P.; REWITZER, C. (1996): Laurion - the minerals in the ancient slags. - Authors publishing, The Netherlands, 195 S.
- GIESTER, G.; RIECK, B. (2010): Drobecite, a novel mineral from the Lavrion, Greece, deposit. - 20<sup>th</sup> General Meeting of IMA (IMA2010), August 21-27, 2010, Budapest, Ungarn.
- GRÖBNER, J. (2001): Roter Skorodit und weitere ungewöhnliche Arsenate: Die Mineralien des Abbaus 132 der Grube Christiana, Lavrion/Griechenland. - Lapis 26 (11), 13-21.
- GRÖBNER, J.; KOLITSCH, U. (2002): Neufunde von Laurion aus den Jahren 2001 und 2002. - Aufschluss 53 (5-6), 363-371.
- GROLIG, H.; GROLIG, E. (1978): Lavrion in Attika. - Lapis 3 (5), 16-25; 40.
- HANKE, H. (1995): Über neue Mineralienfunde aus den attischen Bergwerken bei Lavrion, Griechenland. - MINERALIEN-Welt 6 (6), 62-72.
- HEYMANN, H. (1982): Al-Adamin. - Lapis 7 (3), 26-28.
- JAMBOR, J.L.; DUTRIZAC, J.E.; ROBERTS, A.C.; GRICE, J.D.; SZYMAŃSKI, J.T. (1996): Clinoatacamite, a new polymorph of  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{Cl}$ , and its relationship to paratacamite and "anarakite". - Can. Mineral. 34, 61-72.
- JAXEL, R.; GELAUE, P. (1986): New mineral occurrences from the Laurion slags. - Mineral. Rec. 17, 183-190.
- KOKKOROS, P.; VASSILIADIS, K. (1953): Röntgenkristallographie von Hydrocerussit. - Tschermak's Mineral. Petrogr. Mitt. 3, 298-304.
- KOLITSCH, U.; BRANDSTÄTTER, F.; SCHREIBER, F.; FINK, R.; AUER, C. (2013): Die Mineralogie der weltweit einzigartigen Schlacken von Waitschach, Kärnten. - Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie A, 115, 1-69.
- KOLITSCH, U.; GIESTER, G. (2013): The crystal structure of a new secondary zinc mineral from Lavrion, Greece:  $\text{Zn}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_2\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . - Mitt. Österr. Mineral. Ges. 159, 74.
- KOLITSCH, U.; PRISTACZ, H. (2009): An orthorhombic dimorph of barstowite,  $\text{Pb}_2\text{Cl}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , from slags at Maria Waitschach, Austria, and Lavrion, Greece. - Mitt. Österr. Mineral. Ges. 155, 83.
- KRAUSE, W.; BERNHARDT, H.-J.; BRAITHWAITE, R. S. W.; KOLITSCH, U.; PRITCHARD, R. (2006): Kapellasite,  $\text{Cu}_2\text{Zn}(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ , a new mineral from Lavrion, Greece. - Mineral. Mag. 70, 329-340.
- LAMBECK, K.; ANZIDEI, M.; ANTONIOLI, F.; BENINI, A.; ESPOSITO, A. (2004): Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change. - Earth Planet. Sci. Lett. 224, 563-575.
- LANG, O. (1890): Die Erzlager von Laurion. - Prometheus, I, Nr. 25, 392-396.
- LELEU, M.; MORIKIS, A.; PICOT, P. (1973): Sur des minéralisations de type skarn au Laurion (Grèce). - Mineral. Deposita 8, 259-263.
- LIPIN, Y.V.; NOZIK, Y.Z. (1971): Neutron-diffraction study of  $\text{NaCa}_2\text{Ni}_2\text{V}_2\text{O}_{12}$  garnet with one sublattice. - Latv. PSR Zinat. Akad. Vestis, Fiz. Teh. Zinat. Ser. 1971 (5), 122-123 (in Russisch).
- MÖCKEL, S. (2000): Strashimirit und 11 weitere Neubestimmungen aus Lavrion (GR). - Lapis 25 (7-8), 74.
- MÖCKEL, S. (2001): Wallkilldellit und weitere acht Neubestimmungen aus Lavrion, Griechenland. - Lapis 26 (11), 43.
- NIEDERMAYER, G.; BRANDSTÄTTER, F. (2001): Neufund aus Laurion: Takovit von Sounion, Griechenland. - Mineralienwelt 12 (2), 7.
- PEKOV, I.V.; CHUKANOV, N.V.; ZADOV, A.E.; VOUDOURIS, P.; MAGGANAS, A.; KATERINOPOULOS, A. (2011): Agardite-(Nd),  $\text{NdCu}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  from the Hilarion Mine, Lavrion, Greece: mineral description and chemical relations with other members of the agardite-zálesiite solid-solution system. - Journal of Geosciences 56, 249-255.
- PEKOV, I.V.; CHUKANOV, N.V.; YAPASKURT, V.O.; RUSAKOV, V.S.; BELAKOVSKIY, D.I.; TURCHKOVA, A.G.; VOUDOURIS, P.; KATERINOPOULOS, A.; MAGGANAS, A. (2012): Hilarionite, IMA 2011-089. - CNMNC Newsletter No. 12, February 2012, 154; Mineral. Mag. 76, 151-155.
- PERCIAZZI, N.; REWITZER, C. (1995): Die weltbesten Barstowite und ein neues Sekundärmineral aus Lavrion, Griechenland. - Lapis 20 (4), 30-31.
- PERTLIK, F. (1986):  $(\text{Cl}, \text{Cu}(\text{I})\text{-As}(\text{III})\text{O}_2)$ : Ein kristallchemisch neues Bauelement in der Struktur des  $\text{Pb}_2\text{Cu}(\text{AsO}_4)_2\text{Cl}_2$ . - Monatshefte für Chemie 117, 1257-1261.
- RAPIN, J.-P.; RENAUDIN, G.; ELKAIM, E.; FRANCOIS, M. (2002): Structural transition of Friedel's salt  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  studied by synchrotron powder diffraction. - Cem. Concr. Res. 32, 513-519.
- RENAUDIN, G.; KUBEL, F.; RIVERA, J.P.; FRANÇOIS, M. (1999): Structural Phase Transition and High Temperature Phase Structure of Friedel's Salt,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . - Cem. Concr. Res. 29, 1937-1942.
- RIECK, B. (1999): Seltene Arsenate aus der Kamariza und weitere Neufunde aus Laurion. - Lapis 24 (7-8), 68-76.
- RIECK, B.; GIESTER, G. (2012): Voudourisite, IMA 2012-042 and Lazaridisite, IMA 2012-043. - CNMNC Newsletter No. 14, October 2012, S. 1287; Mineral. Mag., 76, 1281-1288.
- RIECK, B.; WENDEL, W. (1999): Plaka - Sounion Topaktuell: Die Funde vom Frühjahr 1999. - Lapis 24 (7-8), 77-78.
- SCHNEIDER, V. (2001): Arsenogoyazite, une nouvelle occurrence au Laurion, Grèce. - Le Cahier des Micromonteurs 72 (2), 3-6.
- SCHNORRER, G. (2004): Mineralogische Notizen VIII. - Der Aufschluss 55, 381-384.
- SCHNORRER-KÖHLER, G.; STANDFUSS, K.; STANDFUSS, L. (1982): Connellit, Botallackit, Paratacamit und Leadhillit in den antiken Bleischlacken Laurions. - Aufschluss 33, 3-6.
- SCHNORRER-KÖHLER, G.; STANDFUSS, K.; STANDFUSS, L. (1985): Neue Schlackenmineralien von Lavrion. - Lapis 10 (5), 13-16; 50.
- SCHNORRER-KÖHLER, G. (1986): Neufunde in den Schlacken von Laurion. - Lapis 11 (6), 25-29; 42.
- SCHNORRER-KÖHLER, G.; REWITZER, C.; STANDFUSS, L.; STANDFUSS, K. (1988): Weitere Neufunde in Lavrions antiken Schlacken. - Lapis 13 (2), 11-14; 42.
- SCHREIBER, F.; HAMMER, V. M. F. (2007): Lavrion 2003-2007: Es hat sich einiges getan! Neufunde - Nachsuche - Archäologie. - Lapis 32 (4), 32-38.
- SCHREIBER, F.; FABRITZ, K. H.; KOLITSCH, U.; GRÖBNER, J. (2003): Lavrion bleibt aktuell! Wunderschöne Cuprite und andere Sekundärminerale aus einer neuen Fundstelle in Lavrion, Griechenland. - Lapis 28 (5), 25-31; 50.
- SIIDRA, O.I.; KRIVOVICHEV, S. V.; CHUKANOV, N. V.; PEKOV, I. V.; MAGGANAS, A.; KATERINOPOULOS, A.; VOUDOURIS, P. (2011): The crystal structure of  $\text{Pb}_2(\text{As}^{\text{IV}}\text{O}_4)_2\text{Cl}_2$  from the historic slags of Lavrion, Greece - a novel Pb(II) chloride arsenite. - Mineral. Mag. 75, 337-345.
- SIIDRA, O.I.; CHUKANOV, N.V.; PEKOV, I.V.; KRIVOVICHEV, S.V.; MAGGANAS, A.; KATERINOPOULOS, A.; VOUDOURIS, P. (2012):  $\text{Pb}_2(\text{AsO}_4)_2\text{OHCl}_2$ , a new phase from the Lavrion ancient slags, Greece: occurrence and characterization. - Mineral. Mag. 76, 597-602.
- SKARPELIS, N. (2007): The Lavrion deposit (SE Attica, Greece): geology, mineralogy and minor elements chemistry. - Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen, 183, 227-249.
- SKARPELIS, N.; ARGYRAKI, A. (2009): The geology and origin of supergene ores in Lavrion (Attica, Greece). - Resource Geology, 59, 1-14.
- SOLOMOS, C.; VOUDOURIS, P.; KATERINOPOULOS, A. (2004): Mineralogical studies of a bismuth-gold-antimony mineralization in Kamariza Lavrion. - Bulletin of the Geological Society of Greece 34, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Congress, Thessaloniki, Greece, 387-396.
- TOMBROS, S.F.; ST. SEYMOUR, K.; SPRY, P. G.; BONSALE, T. A. (2010): The isotopic signature of the mineralizing fluid of the Lavrion carbonate-replacement Pb-Zn-Ag district. - Bulletin of the Geological Society of Greece 40, Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress, May 2010 Patras, Greece, 2406-2416.
- VAN KALMTHOUT, P. (2012): De slakkenmineralen van Lavrion (Gr.) - Ontwikkelingen na 1996, inclusief een archeologische ontdekking. - GEA 45 (1), 14-19.
- VOUDOURIS, P. (2005): Gold and silver mineralogy of the Lavrion deposit Attika/Greece. - In: Mao, J.W.; Bierlein, F.P. (Eds.): Mineral deposit research: Meeting the global challenge. Springer, Berlin, 1089-1092.
- VOUDOURIS, P.; ECONOMOU-ELIOPOULOS, M. (2003): Mineralogy and chemistry of Cu-rich ores from the Kamariza carbonate-hosted deposit (Lavrion), Greece. - In: Eliopoulos et al. (Eds.): Mineral Exploration and Sustainable Development. Millpress, Rotterdam, 499-502.
- VOUDOURIS, P.; MELFOS, V.; SPRY, P. G.; BONSALE, T.; TARKIAN, M.; ECONOMOU-ELIOPOULOS, M. (2008a): Mineralogical and fluid inclusion constraints on the evolution of the Plaka intrusion-related ore system, Lavrion, Greece. - Mineralogy and Petrology 93, 79-110.
- VOUDOURIS, P.; MELFOS, V.; SPRY, P. G.; BONSALE, T.A.; TARKIAN, M.; SOLOMON, C. (2008b): Carbonate-replacement Pb-Zn-Ag±Au mineralization in the Kamariza area, Lavrion, Greece: Mineralogy and thermochemical conditions of formation. - Mineralogy and Petrology 94, 85-106.
- VOURLAKOS, N. (1992): The minerals of Lavreotiki and the mineral components of its rocks. - Library of the Society of Lavreotiki Studies, Lavrion, Publication No. 5, 31 pp (in Griechisch).
- WALENTA, K. (1998): Ein neues arseniosideritähnliches Mineral aus dem Schwarzwald. - Erzgräber 12, 41-48.
- WALENTA, K. (2006): Über das neue arseniosideritähnliche Mineral aus dem Schwarzwald und seine Beziehungen zum Wallkilldellit-Fe. - Erzgräber 20, 15-17.
- WENDEL, W. (2000): Lavrion-News 2000. - Lapis 25 (10), 45-47.
- WENDEL, W.; WENDEL, G. (1999): Lavrion: mineralogische Klassiker und Raritäten für Sammler. - Lapis 24 (7-8), 34-52; 90.
- WITZKE, T.; GÖSKE, J. (2000): Zálesiit aus dem Marienberger Revier im Erzgebirge, Sachsen und von Laurion, Griechenland. - Mineralien-Welt 11 (5), 63-64.
- WITZKE, T.; RAADE, G. (2000): Zincowoodwardite,  $[\text{Zn}_2\text{Al}_2(\text{OH})_2][(\text{SO}_4)_x(\text{H}_2\text{O})_n]$ , a new mineral of the hydrotalcite group. - Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte 2000, 455-465.

## Adressen der Autoren

- Priv.-Doz. Dr. Uwe Kolitsch**, Mineralogisch-Petrographische Abt., Naturhistorisches Museum, Burggring 7, A-1010 Wien, Österreich, e-mail: uwe.kolitsch@nhm-wien.ac.at
- Dr. Branko Rieck**, Institut für Mineralogie und Kristallographie, Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien, Österreich
- Dr. Franz Brandstätter**, Mineralogisch-Petrographische Abt., Naturhistorisches Museum, Burggring 7, A-1010 Wien, Österreich
- Fritz Schreiber**, Gladbeckstraße 1/13/9, A-2320 Schwechat, Österreich
- Karl Heinz Fabritz**, August-Novy-Str. 24, A-3108 Sankt Pölten, Österreich
- Günter Blaß**, Merzbachstr. 6, 52249 Eschweiler
- Dr. Joachim Gröbner**, Inst. für Metallurgie, Technische Universität Clausthal, Robert-Koch-Str. 42, 38678 Clausthal-Zellerfeld