Feuersetz-Bergbau am Quarzriff bei Badenweiler

Hansjörg Becherer & Wolfgang Werner

Kurzfassung
Der als Badenweiler Quarzriff bezeichnete Abschnitt der Schwarzwald-Randverwerfung im südlichen Oberrheingraben enthält zahlreiche mächtige Quarzgänge mit silberhaltigen Bleierzen. Mindestens seit römischer Zeit und bis in das 19. Jahrhundert hinein fand hier umfangreicher Erzbergbau statt. Unter Tage entstanden bis 60 m hohe Abbaue, über Tage künden zahlreiche höhlenartige Kavernen im bis 35 m mächtigen Quarzgang von reger Suchaktivität. Besonders bemerkenswert sind die gut erhaltenen Abbauhohlräume, die mittels der uralten Methode des Feuersetzens entstanden sind. Neben diesen auffälligen Bergbauspuren existiert eine verborgene Rarität an Mineralneubildungen, die untrügliche Zeugnisse des alten Feuersetzbergbaus sind. Über die historischen Abbaue und die in Badenweiler besonders gut ausgebildete Feuersetzparagenese wird nachfolgend berichtet.

Stichwörter
Baden-Württemberg, Oberrheingraben, Badenweiler, Feuersetzen, Bergbaumethoden, Bergbaugeschichte, Mineralogie, Paragenesen

Anschriften der Verfasser:
Hansjörg Becherer
Dorfstraße 45
D-79592 Fischingen
hjbecherer@gmx.de

Dipl.-Geol. Dr. Wolfgang Werner
Im Rebstall 8
D-79285 Ebringen
awa.werner@t-online.de

Mining based on fire-driving at the “quartz reef” of Badenweiler

Abstract
The section of the Upper Rhine Graben boundary fault called the Badenweiler Quarzriff (quartz “reef” near the township of Badenweiler) contains numerous thick quartz veins with silver-bearing galena. At least since Roman times and until the 19th century intense surface and underground mining took place. Underground up to 60 m high cavities were formed, at surface numerous cave-like galleries resulted from exploration activities in the up to 35 m wide quartz veins. The mining method used at least since Roman times is the fire-driving method using the heat of large log-fires. Besides these obvious remnants of fire driving specific minerals occur, which are evidence of fire setting. This article reports about the spectacular remnants of this ancient method at surface and the minerals formed by oxidation of Pb-Cu-sulfides as a result of fire impact.

Keywords
State of Baden-Wuerttemberg, Upper Rhine Graben, quartz vein, ore mining, fire-driving, mining methods, mining history, mineralogy, paragenesis

1. Einleitung

Badenweiler blickt auf eine lange Bergbautradition zurück. Keltischer Bergbau konnte zwar bisher nicht nachgewiesen werden, aber schon von den Römern wissen wir, dass sie am Fuß des 1165 m hohen Hausberges von Badenweiler, dem Hochblauen, silberhaltigen Bleiglanz abgebaut haben (Abb. 1). Die bei der Erzaufbereitung anfallenden Pochsande wurden als Magerungsstoffe in den Mörteln und Putzen des römischen Bades von Badenweiler und der Villa Urbana von Heitersheim verwendet (Kirchheimer 1976, Werner 2005). Nach der Zusammensetzung stammen die zerpochten Minerale vom Quarzriff. Auch im benachbarten Sulzburg ist römischer Bergbau nachgewiesen (Zimmermann 1990, Weisgerber 1993). Die Technik des Feuersetzens wurde jedoch nachweislich schon in der Bronzezeit angewendet (Zimmermann 1993) und auch im Mittelalter und der Neuzeit spielte sie eine große Rolle.

Der Bergbau auf Blei- und Silbererze erfolgte seit der Römerzeit bei der Sophienruhe, beim Altemannfels und oberhalb und unmittelbar südlich von Hausbaden hauptsächlich im Tagebau. Besonders bei der Sophienruhe befinden sich ausgedehnte Halden als eindrucksvolle Zeugnisse des umfangreichen Erzbergbaus (Abb. 2). Im 17. bis 19. Jh. entstanden umfangreiche Tiefbaue auf den steilstehenden, erzführenden Quarz- und Schwerspatgängen; auch in dieser Zeit wurde Feuersetzen im Bereich der Quarzgänge im großen Stil eingesetzt. Slotta (1983: 1338) schreibt über die Gruben am und im

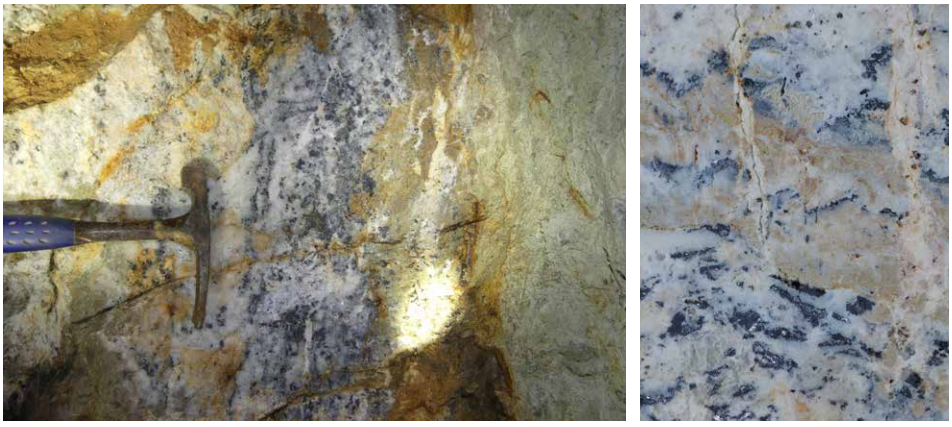

Abb. 1: Ziel des Bergbaus am Quarzriff bei Badenweiler war schwach silberhaltiger Bleiglanz, der in harten, mit Schlägel und Eisen nicht zu bezwingenden Quarzgängen auftritt. Das linke Bild zeigt einen 15 cm breiten, an Bleiglanz reichen Gang im Unteren Karlstollen, das Foto rechts bildet eine Probe aus diesem Gang (Bildbreite 20 cm) mit zwei Generationen von Quarz, Nebengesteinsbruchstücken und etwas Baryt ab. Der jüngere Milchquarz ist reich an Bleiglanz (silbergrau). **Fig. 1:** Galena bearing quartz veins were the target of exploration and mining activities since Roman times. Underground view and galena rich specimen from the Karl gallery at Badenweiler. (Width of galena vein: 15 cm, specimen: 20 cm). (Fotos / photography: Wolfgang Werner)

Abb. 2: Haldenlandschaft an der Sophienruhe südlich oberhalb von Badenweiler. Der helle Gangquarz mit Bergkristalldrusen und Erzeinschlüssen erfreut sich bei vielen Hobbysammlern steter Beliebtheit, weshalb die Halden nur teilweise überwachsen sind. **Fig. 2:** Landscape near Badenweiler at the Sophienruhe with large mining dumps consisting primarily of quartz boulders. (Foto / photography: Wolfgang Werner)

Quarzriff: „*Diese Verhaue*[1] *beindrucken durch ihre Größe und Tiefe der Baue; sie sind* ***technische Denkmäler von großer Bedeutung****, auf die durch Hinweistafeln näher hingewiesen werden sollte*“. Derartige Tafeln sind bei der Anlage des geologisch-bergbaugeschichtlichen Wanderwegs durch die Agendagruppe „Historischer Bergbau“ und die Stadt Badenweiler im Jahre 2012 an 24 verschiedenen Standorten im Bergbaugebiet aufgestellt worden.

Heute erinnern außerdem noch Orts-, Flur- und Straßennamen an den alten Bergbau, wie zum Beispiel Altemannfels, Bergmannsruhe, Gipsgrubenweg, Am Karlstollen. Der Name „Altemannfels“ gibt bereits einen direkten Hinweis auf die ehemalige, umfangreiche bergmännische Tätigkeit; als „alter Mann“ wird vom Bergmann ein durch den Abbau von Erzen entstandener und verlassener Hohlraum bezeichnet. Viele im Blauenwald befindliche Halden, Vertiefungen und Schurfgräben sowie Höhlungen im Fels bieten dem aufmerksamen Auge noch deutliche Spuren der ehemaligen Bergbautätigkeiten. Zu den

1 Verhau = Abbau, im Schwarzwald meist für schluchtartige Tagebaue gebraucht.

Abb. 3: Untertägige Weitungsbaue in der Grube Hausbaden, meist mit Feuersetzen und Sprengarbeit erzeugt. Man beachte zum Größenvergleich den Bergbauforscher im roten Overall. Die Größe und Tiefe der Abbaue geben eine Vorstellung vom Umfang des alten Bergbaus. **Fig. 3:** Underground view of the mine Hausbaden; the large workings were formed by fire setting and blasting using black power. Please mind the underground explorer in red overall for scale. (Foto / photography: Matthias Zizelmann).

besonders beeindruckenden Zeugnissen langer bergmännischer Tätigkeit zählen die Feuersetzabbaue, über die hier berichtet wird.

Kurze Bergbaugeschichte: Am intensivsten dürfte der Bergbau am Quarzriff (Abb. 4 und 5) im Mittelalter gewesen sein. Die berühmte, auf den 15. Dez. 1028 datierte Verleihung von Südschwarzwälder Bergrechten von Kaiser Konrad an den Basler Bischof schloss auch Gruben bei Badenweiler ein (Kirchheimer 1971, Hägermann 1984). Der Bischof gab die Bergrechte an die Grafen von Freiburg weiter, welche in der letzten Hälfte des 13. Jahrhunderts die Gruben Sophienruhe, Altemannfels, Schwefelhöhle und Hausbaden betrieben (Metz et al. 1957, Becherer & Konrad 1988). Vom 15. Jh. bis in die Mitte des 18. Jh. standen die Gruben nur sporadisch und schwach in Abbau. Löwe (1937) berichtet nach den Archivalien[2] über den Nachlesebergbau im 18. und 19. Jahrhundert. Danach war die Hauptgrube des Reviers, die Grube Hausbaden, in den Jahren 1727–1735, 1833, 1843–1860 und letztmals 1865 belegt. Kurze bergmännische Untersuchungen fanden auch im Rahmen der Autarkiebestrebungen in den Jahren 1938–1940 statt.

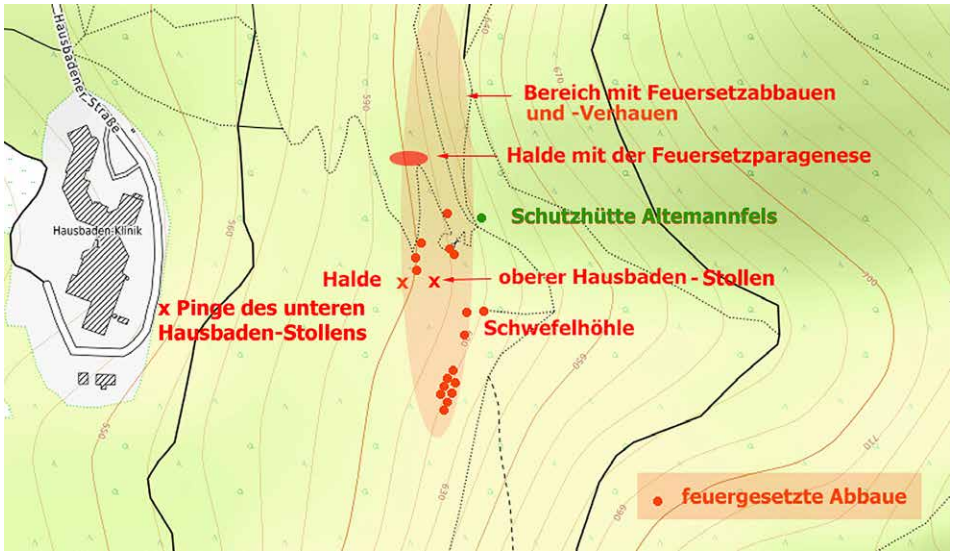

Abb. 4: Übersichtskarte mit Lage der im Text genannten Lokalitäten im Bereich des Quarzriffs mit Altemannfels, Schwefelhöhle und Grube Hausbaden. Topographische Grundlage: opentopomap. **Fig. 4:** Overview map illustrating the position of the localities mentioned in the text in the area of Altemannfels, Schwefelhöhle and the Hausbaden mine.

2 Löwe (1937: 1) führt zum geschichtlichen Überblick in seinem Gutachten aus: „*Der Bergbau auf die silberhaltigen Bleierze läßt sich bereits viele Jahrhunderte zurückverfolgen, wenngleich eine Bearbeitung der hier und da zerstreuten Dokumente noch nicht erfolgt ist. Beim Generallandesarchiv in Karlsruhe harren alleine einige hundert Faszikel unter der Rubrik „Bergwerke“ der General-Akten Badenweiler dieser Bearbeitung*“. Soweit bekannt, ist diese Bearbeitung bis heute unterblieben.

Während der verschiedenen Abbauphasen kamen im Bergbaurevier von Badenweiler sehr schön ausgebildete Mineralien zum Vorschein. Es waren insbesondere die Bleisekundärminerale Pyromorphit ($Pb_5[Cl|(PO_4)_3]$) (Grünbleierz), Mimetesit ($Pb_5[Cl|(AsO_4)_3]$), Anglesit ($PbSO_4$) und Cerussit ($Pb[CO_3]$) (Abb. 9 und Kap. 5). Schaustücke von hier gelangten in viele bedeutende Museen der Welt. Über den Mineralreichtum berichten Becherer & Konrad (1988), Schlomann & Steen (1990) sowie Markl (2017). Der Bergbau von Badenweiler bietet aber noch eine weitere Besonderheit. Durch die „typisch mittelalterliche" Erzabbaumethode – das Feuersetzen – entwickelte sich hier eine Mineralvergesellschaftung, die sehr selten ist.

2. Das Quarzriff bei Badenweiler – eine kurze geologische Übersicht

Südlich von Badenweiler tritt eine generell N–S verlaufende, fast 200 m breite Störungszone mit zahlreichen subparallelen bis spitzwinklig zu einander verlaufenden hydrothermalen Quarzgängen auf (Abb. 5). Die mächtigsten Quarzgänge bauen das „Quarzriff" auf (Abb. 5, 6 und 7). Diese Störungszone ist ein Abschnitt der Schwarzwald-Randverwerfung, die das Kristallin des Schwarzwaldblocks vom im Tertiär entstandenen Oberrheingraben trennt. Im Osten grenzt das Granitmassiv des Blauen an das Badenweiler Quarzriff an, im Westen die mesozoischen Sedimentgesteine des Markgräfler Hügellands.

Beim Quarzriff von Badenweiler handelt es sich somit um eine der markantesten Abschnitte der Schwarzwald-Randverwerfung. Die Quarzgänge sitzen sowohl der Randstörung selbst auf als auch auf Begleitstörungen im Kristallin und in den mesozoischen Sedimentgesteinen des Markgräfler Hügellands (Abb. 5). Diese steilstehende, Quarzgang-reiche Störungszone und die an der Störung aufgestellten Sedimentschichten wirken als hydraulische Barriere für im Blauengranit aufgeheizte Wässer, weshalb bei Badenweiler schon von den Römern genutzte Thermalwässer aufsteigen und zutage austreten (Beschreibung und Literatur bei: Werner 2018).

Der mächtigste Quarzgang, das Quarzriff s. str., ragt südlich der Sophienruhe mit über 100 m Höhenunterschied (auf einer W–E-Distanz von nur 500 m) über das westliche Vorland hinaus, wobei 25–40 m hohe weiße Quarzwände die angrenzenden Hangschuttfächer und Fließerden überragen (Abb. 7). Häufig durchschlagen Dezimeter bis max. 1,5 m breite Baryt- und Quarz-Fluorit-Gänge die mächtigen, steilstehenden Quarzgänge des „Riffs". Die Quarzgänge bestehen aus zwei Generationen von Quarz, einem dunkelgrauen Hornsteinquarz und einem milchig weißen jüngeren Quarz, der die Bruchstücke des Hornsteinquarzes umschließt (Abb. 8). Der jüngere Quarz ist Träger der Sulfidvererzung und oft mit farblosem bis hellviolettem Fluorit verwachsen; er ist reich an Bergkristalldrusen und vielen Sekundärmineralen von Blei-, Zink- und Kupfererzen (Abb. 9).

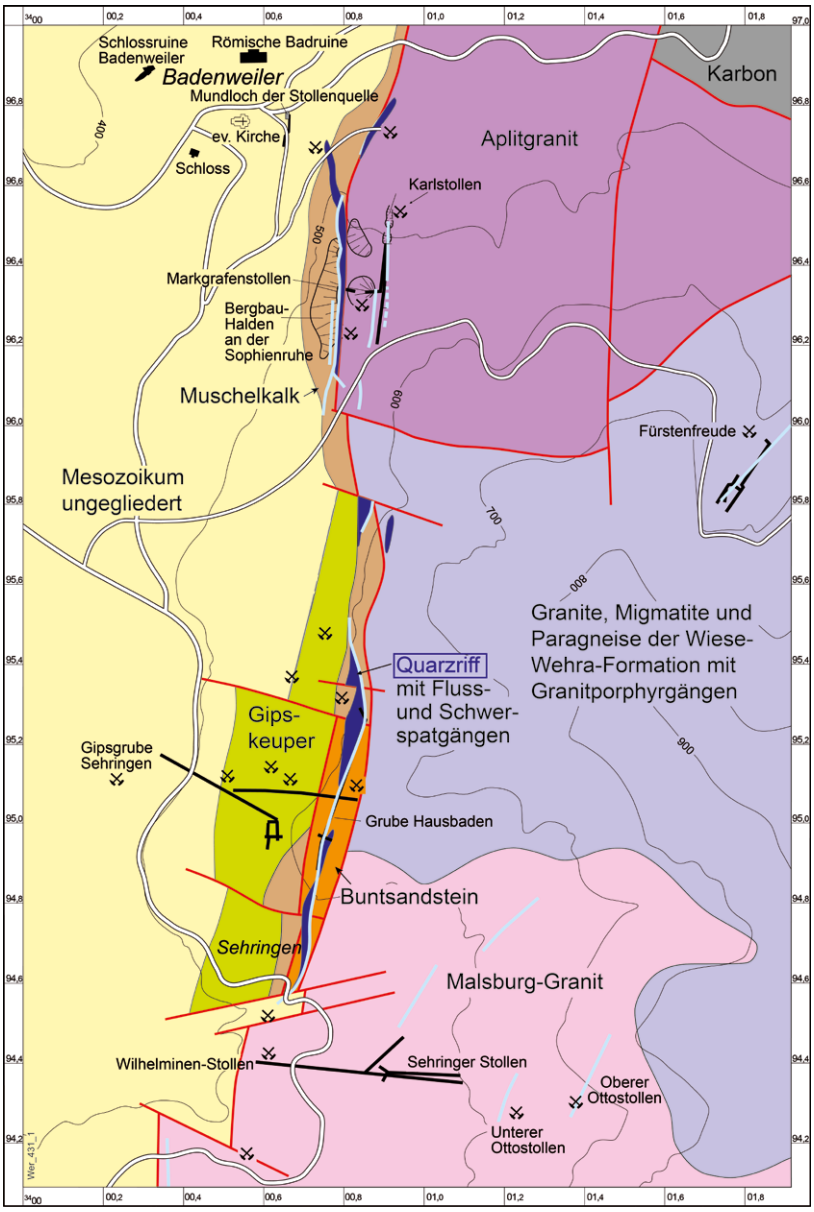

Abb. 5: Vereinfachte geologische Karte für die Schwarzwald-Randstörung südlich von Badenweiler mit den wichtigsten Bergwerken (Grundlage: digitale geologische Karte des LGRB und eigene Kartierungen; dunkelblau: Verlauf der Quarzgänge). Bleierz wurde auf Quarz-Fluorit-Gängen im sog. Quarzriff, vor allem auf dem Gang der Grube Hausbaden, gewonnen. **Fig. 5:** Simplified geological map of the area between Badenweiler and Sehringen illustrating the geology at the eastern shoulder of the Upper Rhine Graben and the location of the abandoned mines. Yellow, green and brownish colors indicate the outcrop of Mesozoic sediments, pink and grey colors the outcrop of granites and of metamorphic rocks. The prominent quartz vein, called the „quartz-reef“, is given in dark blue color.

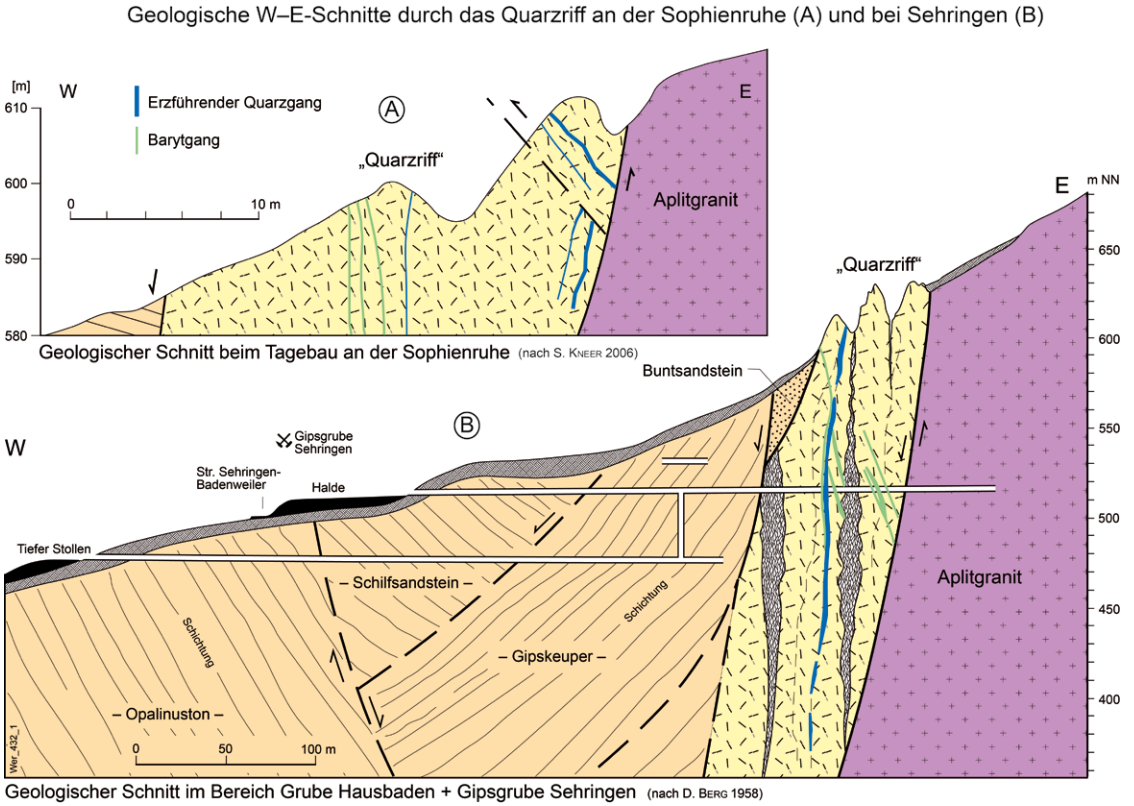

Abb. 6: West–Ost gerichtete geologische Schnitte durch das Badenweiler Quarzriff (hellgelb, mit Strich-Signatur): (A) An der Sophienruhe im nördlichen Teil des Quarzriffs (nach: Kneer 2006) und (B) an der Grube Hausbaden mit der westlich vorgelagerter Gipsgrube Sehringen (nach: Berg 1961). Der obere Stollen der Gipsgrube wurde im Rahmen von Explorationsmaßnahmen im Jahr 1940 durch das Quarzriff verlängert und auf diesem Erkundungsstecken in N–S-Richtung aufgefahren. Die genannten Lokalitäten sind in Abb. 5 vermerkt. Graphik: LGRB, nach einem Entwurf von D. Berg (1961). **Fig. 6:** W–E oriented cross-sections through the „quartz-reef“ at Badenweiler (for localities compare with Fig. 5).

Abb. 7: Eine rd. 35 m hohe Wand aus Quarzgestein am Altemannfels; im Vordergrund eine große, rundliche Feuersetzweitung. **Fig. 7:** 35 m high cliff consisting of white quartz at the locality Altemannfels; in the foreground a round remnants of fire setting. (Foto / photography: Wolfgang Werner)

Abb. 8: Die Quarzgänge des Badenweiler Quarzriffs sind aus zwei Generationen von Quarz aufgebaut, einem kataklastischen, dunkelgrauen, dichten Hornsteinquarz und einem jüngeren Milchquarz. Lokalität: Feuersetzabbau bei der Schwefelhöhle, vgl. Abb. 14 B. Bildbreite entspricht 40 cm. **Fig. 8:** The veins of the Badenweiler quartz „reef“ consist of two generations of quartz, i. e., a cataclastic dark grey, fine grained quartz and a white „milky quartz“; Fire setting at the Schwefelhöhle locality, see Fig. 14 B. (Foto / photography: Wolfgang Werner)

Abb. 9: Die alten Bergwerke bei Badenweiler und die zugehörigen Bergbauhalden sind bekannt für ihre schönen Sekundärminerale. Beispiele für natürlich gebildete, aus Bleiglanz entstandene Sekundärminerale vom Badenweiler Quarzriff: Links: Pyromorphit von der Grube Hausbaden (Bildhöhe entspricht: 4 mm). Rechts: Mimetesit vom Altemannfels auf Bergkristallquarz (Bildhöhe entspricht 6 mm). **Fig. 9:** Examples of naturally formed secondary minerals from the Badenweiler „quartz reef"; Pyromorphite and mimetesite formed by weathering of galena. (Fotos / photography: Hansjörg Becherer)

Neben dem vorherrschendem Hornsteinquarz und dem jüngerem Milchquarz (Quarz I und II, Abb. 8) wurden Schwerspat, Flussspat und Quarz III mit Bleiglanz, Zinkblende und Kupferkies abgeschieden. Diese Mineralisation erfolgte aus aufsteigenden heißen, salinaren Wässern im Temperaturbereich zwischen 110 und 200 °C (Kneer 2006). Über die Entstehung des Quarzriffs berichtet Werner (2018).

3. Die Technik des Feuersetzens im Bergbau

Mit „Feuersetzen" oder „Brände setzen" wird im Bergbau verstanden „*diejenige Abtheilung der Gewinnungsarbeiten, bei welcher die anzugreifenden Gesteinsmassen durch Feuer erhitzt, hierdurch ausgedehnt und mürbe gemacht werden, dass die Gewinnung mittels scharfen Gezähes oder durch Bohren und Schiessen erfolgen kann*" (Veith 1870). Auch Georgius Agricola, der erste Gelehrte und Schriftsteller in Sachen Berg- und Hüt-

tenkunde, befasst sich in seinem 1556 erschienen, in Basel gedruckten Hauptwerk „De re metallica librii XII“ mit dem Feuersetzen (Abb. 10): „*Wenn ein von hartem Nebengestein umschlossener Gang wegen seiner Härte oder wegen seiner geringen Mächtigkeit nicht für sich verhauen* [= abgebaut / gelöst] *werden kann, so werden geschichtete Haufen trockenen Holzes abgebrannt, und zwar in einen niedrigen Feldort oder Stollen ein Haufe, in einem hohen Feldort oder Stollen zwei aufeinander gesetzte Haufen; man lässt sie so lange brennen, bis das Feuer die Scheiter ganz verzehrt hat. Seine Macht löst im allgemeinen nicht ein großes Gangstück ab, sondern nur einzelne Schalen.*“ […]. „*Das Feuer löst, vom Wetterzug gegen den Stoß getrieben, den Gang vom Nebengestein ab und macht selbst ein sehr hartes Nebengestein oft so gebräch, daß es leichter als alles andere gebrochen werden kann*“ (Agricola 1556 / Reprint 1977: 89).

Abb. 10: Darstellung von untertägigem Feuersetzen nach Agricola (1556). Die Holzscheiter sind mit Bärten versehen, damit sie besser brennen. Die Szene über Tage zeigt, wie die Holzknüppel vorbereitet werden. **Fig. 10:** Historic drawing illustrating the method of fire setting for ore mining (from Agricola 1556). The timber is prepared on surface.

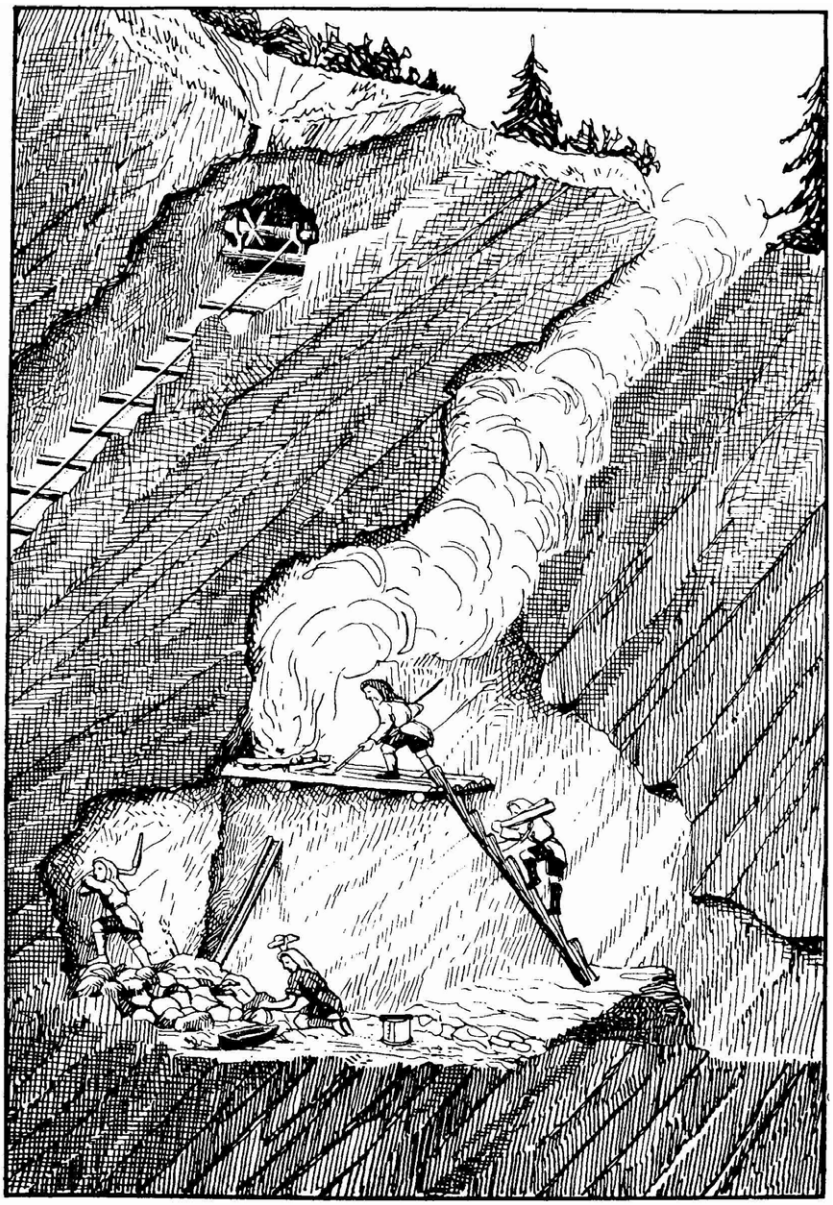

Abb. 11: Kupfererzgewinnung mittels Feuersetzen im Mitterberger Revier (Pongau, Österreich). Im Weitungsbau wird auf einer Bühne feuergesetzt, während ein älterer Feuersetzort bereits mit der Keilhaue bearbeitet wird. Reproduktion aus: Suhling (1983): Darin Reproduktion der Zeichnung von Pirchl (nach Österreichische Kunsttopographie XVII, 1918) aus J. Andree: Bergbau in der Vorzeit, Bd. 1 (Bergbau auf Feuerstein, Kupfer, Zinn und Salz in Europa). In der Reihe: Vorzeit, Nachweise und Zusammenfassungen aus dem Arbeitsgebiete der Vorgeschichtsforschung (Hrsg. H. Hahne). Leipzig 1922, Abb. 20, S. 29. **Fig. 11:** Mining of copper ore in the Austrian district of Mitterberg using the method of fire setting (from Andree 1918 in Suhling 1983).

Eine ausführliche Befassung mit der in vielen Erzrevieren sehr wichtigen Bergbaumethode des Feuersetzens findet man bei Bax (1981). Eine der frühesten Anwendungen ist nach seiner Darstellung aus dem bronzezeitliche Kupferbergbau Spaniens belegt; um 1600 v. Chr. wurde sie bei Oviedo angewendet. In Laurion, dem silberreichsten griechischen Bergbaurevier, wurde diese Methode auch im großen Stil praktiziert, wodurch der Reichtum von Athen (Blütezeit 1100–350 v. Chr.) begründet wurde. Im österreichischen Mitterberg (Pongau, Steiermark) wurde sogar noch früher beginnend und dann über 700 Jahre lang, nämlich im Zeitraum 1700–1000 v. Chr., Kupfererz mittels Feuersetzen gewonnen (Zimmermann 1993) (Abb. 11). Selbst in der Bibel und dort in dem im 4. Jahrhundert vor Christus entstandenen Buch Hiob (28. Kapitel: Das Lied von der Weisheit Gottes, in der Übersetzung von Luther 1545), wird erwähnt: *Es hat das Silber seine Gänge, und das Gold, das man läutert seinen Ort. Eisen bringt man aus der Erde, und aus den Steinen schmelzt man Erz. Man macht der Finsternis ein Ende und findet zuletzt das Gestein tief verborgen. Man bricht einen Schacht von da aus, wo man wohnt; darin hangen und schweben sie als die Vergessenen, da kein Fuß hin tritt, fern von den Menschen. Man zerwühlt unten die Erde mit Feuer, darauf doch oben die Speise wächst.*“

Bax schreibt (1981: 57): „*In der Feuerkraft des göttlichen lumen gloriae hatte die Erzgewinnung den ersten fortschrittlichen und für Jahrtausende wichtigsten Helfershelfer gefunden. Das härteste Gestein konnte nun bezwungen werden*“. Das Feuersetzen ging so vor sich: Zuerst wurde am erzführenden Vorort trockenes Holz aufgestapelt (Abb. 10 und 11). „*Mit angezündeten Bärten, Holzknüppeln, bei denen ein Ende faserig aufgeschlissen war, wurde dann das gestapelte Holz in Brand gesetzt*“ (Bax 1981: 58). Das Feuer musste bewacht werden; nach ca. drei Stunden gingen Brandwächter in den Stollen, bewaffnet mit langen gedrehten Eisenstangen, um Luftlöcher in die brennende Holzmasse zu stoßen. Je größer die durch das Feuersetzen bereits entstandene Weitung im Fels war, desto effektiver konnte die Methode angewendet werden. Am nächsten Tag fand man das Gestein zermürbt vor, jedoch meist nur auf einer Tiefe von 5–12 cm. Dann musste nach dem Lösen des aufgelockerten Gesteins das nächste Feuersetzen erfolgen. Der Holzbedarf war somit zugleich immens, weshalb diese Methode nur in waldreichen Regionen erfolgreich angewendet werden konnte.

Auch auf der berühmten Massivsulfiderz-Lagerstätte Rammelsberg bei Goslar wurde im Mittelalter, besonders im Zeitraum 968–1360, neben Schlägel-und-Eisen-Arbeit das Feuersetzen angewendet, wobei 10–60 m lange, 5–20 m breite und 5–10 m hohe Weitungen entstanden (Slotta 1983). Im Rammelsberg wurde das Feuersetzen bis in das Jahr 1878 angewendet.

Der oft bei Führungen in vielen Besucherbergwerken erwähnte Gebrauch von Wasser zum Abschrecken der durch das Holzfeuer erhitzten Stöße hat nirgends im Schwarzwald stattgefunden, und auch vermutlich sonst nirgends.[3] Auch Wagenbreth & Wächtler

[3] Eine entsprechende falsche Darstellung findet sich auch im Internet-Nachschlagewerk Wikipedia.

(1990: 44) schreiben für das Erzgebirge: „*Eine weitere Auflockerung des heißen Gesteins beim Feuersetzen durch Abschrecken mit Wasser fand – entgegen der Darstellung in der Literatur – nur versuchsweise im 17. Jh. und ohne Erfolg statt*." Abschrecken mit Wasser war auch schlicht nicht nötig, denn durch den Abkühlungsprozess wird quarzreiches, sehr hartes Gestein ohne Zutun gebräche. Ursache dafür ist, dass sich Quarz aufgrund seines hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten stark ausdehnt; bei Abkühlen und Volumenabnahme entstehen in der Folge Mikrorisse im Kristallgitter des Quarzes und im Intergranularraum des quarzhaltigen Gesteins. Aus diesem Grund macht Feuersetzen auch nur in quarzreichen Nebengesteinen oder auf erzführenden Quarzgängen Sinn. Das abkühlende Gestein löst sich dann schalenförmig ab. Schöne Beispiele hierfür sind am Quarzriff an der Oberfläche zu finden.

Ein weiteres Beispiel bieten die Zinngranite im sächsischen Erzgebirge. In den Zinngraniten von Altenberg, Geyer und dem Vogtland war es früher fast unmöglich, mit Sprengen zu arbeiten, weil man die erforderlichen Bohrlöcher nicht von Hand erstellen konnte (Wagenbreth & Wächtler 1990). Dazu wurden am Vorort Holzscheite aufgestapelt und angezündet, wozu auch guter Wetterzug erforderlich war. In den homogenen Zinngraniten war diese Methode recht erfolgreich; so konnten nach Darstellung der genannten Autoren mit 3,5 m^3 Holz 6 m^3 erzhaltiges Gestein gelöst werden.

Auf der Grube Caroline bei Sexau (Lkr. Emmendingen) wurde bei den Ausgrabungen nachgewiesen, dass zum Feuersetzen im 15. und 16. Jh. sogar eigens enge Kamine durch lettiges Störungsgebirge, die sog. Ruscheln, angelegt wurden, um die Rauchschwaden in die höher gelegenen Stollen und Abbaue abziehen lassen zu können (Werner & Kaltwasser 1994, Werner & Matz 1994). Zurückblieben oft zentimeterdicke Rußbeläge, die die Jahrhunderte in den bis 1990 wassererfüllten Strecken und Schächten überdauerten.

Charakteristisch für diese Art des Abbaus sind die rundlichen, kugel- bis eiförmigen Felsgewölbe und der Besteg aus Ruß und oxidiertem Mineralgemenge (Abb. 12).

Die Nebengesteine der Bleierz führenden Quarzgänge bei Badenweiler bestehen vielfach aus hydrothermal verkieselten Sedimentgesteinen von Muschelkalk und Buntsandstein, und auch die Bleiglanz führenden Quarzgänge selbst sind, wie erwähnt, zu hart und zäh, um mit den in der vorindustriellen Zeit verwendeten eisernen Werkzeugen (Schlägel und Eisen, Keilhaue) annehmbare Vortriebs- oder Abbauleistungen zu erreichen. Sprengstoff in Form von Schwarzpulver wurde im Bergbau wohl erst ab dem 17. Jh. eingesetzt. Deshalb erfolgte der mittelalterliche Abbau in den Tagebauen bei Badenweiler ebenfalls fast ausnahmslos mit der Feuersetz-Technik.

Abb. 12: (A) Feuergesetzter Eingangsbereich zur Grube Alt Bergmännisch Glück bei Wittichen; Nebengestein ist Granit. (B) Feuergesetzter Stollen in der Grube Nöggenschwiel im Hotzenwald; Nebengestein ist Paragneis. Die beim Feuersetzen entstehende ovale Form der Strecke konnte den hohen Gebirgsdruck gut seitwärts ableiten und war günstig für den reibungslosen Wetterzug. **Fig 12:** (A): Entrance part of the mine Alte Bergmännisch Glück at Wittichen formed by fire setting. (B): Gallery at the Nöggenschwiel mine in the region of the Hotzenwald formed by fire setting. This method results in a shape of the walls favourable to prevent from collapse of the rocks due to high pressure. (Fotos / photography: Matthias Zizelmann)

4. Feuersetzabbaue am Quarzriff – Geländebefunde

Die zuvor beschriebene Methode des Feuersetzens hinterlässt in homogenen Gesteinen typische rundlich ovale Querschnitte von Stollen, Strecken und Abbauen (Abb. 12). Bei Störungsgesteinen, wie am Quarzriff, sind die dabei entstandenen Hohlräume oft unregelmäßig geformt (Abb. 13). Folgende Feuersetzabbaue können am Quarzriff an der Oberfläche aufgesucht werden (in Reihenfolge von Nord nach Süd, vgl. Abb. 4):

1) Am Wanderweg oberhalb der Wasserfassung, 6. Kehre des Serpentinenwegs: Drei Tagebaue, in N–S-Richtung aneinander gereiht; Bohrspuren belegen, dass die alten Feuersetzbaue nachgesprengt wurden. Unterhalb am Hang ist reichlich Haldenmaterial mit Feuersetzparagenesen zu finden.

Abb. 13: Versuchsabbaue und Stollen am Altemannfels. Einige Abbaue sind nur wenige Meter lang (links), andere über 20 m und durchziehen den ganzen herausragenden Quarzfelsen. Die Spuren vom Feuersetzen sind vielfach durch spätere Mineraliensuche überformt worden. Höhe der Messlatte: 1,5 m. **Fig. 13:** Ancient exploration galleries at the Altemannfels SE of Badenweiler. Main method to break the quartz rocks was fire setting. Later mineral collectors modified the shape of the gallery walls. (Fotos / photography: Wolfgang Werner)

2) Weiter südlich, an der 5. Kehre, steil aufragende Quarzfelsen mit mehreren großen Höhlungen auf der Nord- und der Südseite mit Feuersetzresten, Sammlertätigkeit im zellig-kavernösen Quarzgang hat die Spuren teilweise verwischt (Abb. 13).
3) Kurz vor der Brücke über die Schlucht (mit Erinnerungstafel an den Besuch der Kaiserin Auguste Victoria): rd. 20 m langer Stollen mit zwei Mundlöchern (Abb. 13 rechts).
4) Ein vom ausgezeichneten Wanderweg nach Westen gerichteter kurzer Stichweg führt zum Quarzriff und zur sog. Schwefelhöhle, einem ca. 50 m tiefen senkrechten Schacht der Grube Hausbaden (vergittert). Unmittelbar bei der sog. Schwefelhöhle ist ein besonders schöner, obgleich kurzer Feuersetzstollen mit ovaler Form erhalten; darüber befindet sich die Ortsbrust eines weiteren, älteren Feuersetzortes (Abb. 14).
5) Von der Lokalität 4 aus gilt es nun das Quarzriff nach Westen, zum steilen Hang hin, zu überqueren (vgl. Abb. 4). Der alte Wanderweg ist schlecht erhalten. Gegenüber der Schwefelhöhle ist der Stollenmund des in Abb. 13 (rechts) gezeigten Abbaus zu sehen. Unterhalb der höchsten Erhebung des Quarzriffs befinden sich im Hochwald auf der steilen Westseite acht Feuersetzabbaue dicht an dicht, wobei der ca. 5 m lange, höhlenartige Stollen mit zwei bogenförmigen Eingängen besonders beeindruckend ist (Abb. 15). Auffallend ist, dass keine Erzspuren erkennbar sind. Es handelt sich also um einen reinen Erkundungstollen.

Abb. 14 A: Kurzer feuergesetzter Stollen, direkt am tiefen Schacht der Grube Hausbaden („Schwefelhöhle"); hier ist die typische ovale Form, die durch den Vorgang des Feuersetzens entsteht, besonders gut erkennbar. Unmittelbar darüber finden sich Reste eines weiteren, flacheren Feuersetzorts (Messlatte: 3 m). **Fig. 14 A:** Short gallery formed by fire setting at the so called Schwefelhöhle, next to the deep shaft of the Hausbaden mine. (Foto / photography: Wolfgang Werner)
Abb. 14 B: Nahaufnahme des ovalen Feuersetzstollen von Abb. 14 A. **Fig. 14 B:** Close-up view of Fig. 14 A. (Foto / photography: Matthias Zizelmann).

Abb. 15: Feuersetzstollen südwestlich unterhalb Schwefelhöhle mit zwei Zugängen, Höhe des ca. 5 m langen Stollens 1,2–1,6 m. Nebengestein: mächtiger Quarzgang mit zwei Generationen von Quarz. Knapp unterhalb liegt ein weiterer stollenartiger Zugang. **Fig. 15:** Exploration gallery (5 m long, 1,2–1,5 m high) formed by fire setting near the Hausbaden mine and the Schwefelhöhle. (Fotos / photography: Wolfgang Werner)

5. Feuersetzparagenesen – mikroskopische Entdeckungen

Die Primärerze im Quarzgang und die daraus entstandenen natürlichen Sekundärminerale wurden beim Prozess des Feuersetzens chemisch verändert; es entstanden durch Oxidation bei hoher Temperatur neue Minerale. Partien mit wenig Erzgehalt und taubes Gestein wurden von den Bergleuten zusammen mit der an Pottasche reichen Asche und den Resten des verkohlten Holzes auf Halde geworfen. Unter dem Einfluss von CO_2-haltigem Niederschlagswasser entstand ein hochreaktives basisches Milieu. In diesem konnte sich im Laufe der Zeit durch weitere chemische Umwandlung der Minerale und durch Umverteilung von Elementen eine ganz besondere, recht seltene Mineralvergesellschaftung bilden: die **Feuersetzparagenese**. Dieser Begriff wurde von A. Wittern (1988) geprägt; später erwähnt er in diesem Zusammenhang auch Badenweiler (Wittern 1994). Das abgeschlagene und auf Halde geworfene Gestein fällt durch die rotbraune Farbe auf (Abb. 16), die vor allem auf Neubildung von Hämatit (Fe_2O_3) zurückgeht.

Abb. 16: Haldenmaterial vom Badenweiler Quarzriff mit Anzeichen vom Feuersetzen; in diesen unauffälligen rötlichen Gangquarzen treten die beschriebenen Minerale der Feuersetzparagenese auf. **Fig. 16:** Reddish gangue material from the mining dumps at the Badenweiler quartz reef with indications of fire setting (Foto / photography: H. Becherer)

Beim in Badenweiler häufig vorkommenden Cerussit wurde der Karbonatanteil reduziert oder komplett ausgetrieben. Es bildeten sich, in Abhängigkeit von der erreichten Temperatur und der Dauer der Feuereinwirkung, das Mineral Shannonit und diverse Bleioxide wie Lithargit, Massicotit, Mennige (Minium) oder Blei-Oxicarbonate (Keim et al. 2018). Bei den genannten chemischen Prozessen entstanden ferner basische Bleisekundärminerale wie Caledonit, Chenit, Elyit, Hydrocerussit, Lanarkit und Leadhillit bzw. Susannit. Die Bildung der kupferhaltigen Minerale Caledonit, Chenit und Elyit setzt neben Bleiglanz das Vorhandensein von Kupfersulfiden oder ihrer Sekundärminerale voraus. Das gemeinsame Vorkommen solcher Minerale findet man an mehreren Bergbauorten in Deutschland, an denen diese Abbaumethode eingesetzt wurde. Die Häufigkeit und die gute Ausbildung von Kristallen dieser Paragenese bei den mittelalterlichen Abbauen am Quarzriff machten Badenweiler hierfür besonders bekannt.

Im Jahr 1788 wurde der obere Hausbaden-Stollen vom sächsischen Bergrat August Beyer auf seine Bauwürdigkeit hin untersucht. Dabei beklagte er, dass durch den Drusenreichtum des Quarzganges zu viel Schwarzpulver zum Sprengen verbraucht wurde: „*Da dieser Hornstein, in welchen das Stollort getrieben wird, nicht nur ausserordentlich fest ist, sondern auch hier gleichermassen, wie auf den obern Stolln, viele Drusen hat, bey welcher Beschaffenheit oft manches in ein, zwey Schichten mit vieler Mühe gebohrte Loch verlohren ist, auch mancher Schuss sich in den Drusen verschlägt und nicht hebet, so muss dieser Stollortsbetrieb freylich sehr theuer zu stehen kommen und sehr langsam von statten gehen. Es verdiente daher versucht zu werden, ob dieses Stollort mit Feuersetzen wohlfeiler fortgetrieben werden könnte*“ (Beyer 1794: 65).

Er machte also den Vorschlag, für den Vortrieb des Stollens und den Abbau der Erze wieder zum bewährten Feuersetzen zurückzukehren. Dieser Rat wurde anschließend zumindest teilweise befolgt, denn auch auf der Halde des oberen Hausbadener Stollens können manchmal thermisch beanspruchte rötliche Quarze gefunden werden, in denen Minerale der Feuersetzparagenese eingewachsen sind.

Am Mineralogischen Institut der Universität Tübingen wurden Experimente durchgeführt, welche die Prozesse der Entstehung der Feuersetz-Minerale erklären sollten. Dabei gelang es, innerhalb von wenigen Tagen, ja teilweise sogar innerhalb von wenigen Stunden, die Neubildung von Chenit, Elyit und Hydrocerussit anzustoßen (Keim et al. 2018). Aufgrund der Entstehung der Feuersetzparagenese – also durch menschliche Tätigkeiten gebildete – könnte man in Erwägung ziehen, diese als „anthropogen gebildete“ Minerale einzustufen. Es gibt aber tatsächlich auch einige Fundorte, wo sie sich ohne menschliches Zutun entwickeln, so z. B. auf der Kupfererzlagerstätte in Tsumeb (Namibia).

Wie schon erwähnt, haben sich auf den Halden beim Quarzriff durch die Hitzeeinwirkung und die anschließende chemische Umwandlung in einem hoch reaktiven Milieu besondere Minerale gebildet. Dabei sitzen diese meist in unterschiedlicher Vergesellschaftung

und Quantität in kleinsten Hohlräumen. Die besten Fundmöglichkeiten bieten durch die Hitze des Feuers rötlich verfärbte, also Hämatit- und Limonit-haltige Quarzbruchstücke (Abb. 16). Folgende Minerale der Feuersetzparagenese wurden festgestellt (alphabet. Auflistung):

Caledonit ($Pb_5Cu_2[(OH)_6|CO_3|(SO_4)_3]$) kann nicht nur am Altemannfels, sondern auch auf der ausgedehnten Blockhalde der Sophienruhe gefunden werden. Er bildet hellblaue Kristallrasen oder „Igelchen", bestehend aus dünnen Nädelchen mit einem leichten Stich ins Grünliche (Abb. 17). Seltener sind auch winzige Prismen ausgebildet.

Chenit ($Pb_4Cu[(SO_4)_2(OH)]_6$) ist am Altemannfels einer der selteneren Vertreter der Feuersetzparagenese und kann hervorragende Kriställchen bilden. Die Farbe ist ein leuchtendes Himmelbau. Ab und zu kann Elyit in der Umwandlung zu Chenit begriffen sein, wobei dann die Elyitnadeln ganz oder teilweise hellblau gefärbt sein können (Abb. 18 und 19).

Elyit ($Pb_4Cu[O_2|(OH)_4|SO_4]\cdot H_2O$): Dieses Kupfer-Bleisulfat (Abb. 18, 19 und 20, 39) ist zusammen mit Caledonit und Chenit wohl das schönste und bei Sammlern begehrteste Mineral der Feuersetz-Paragenese. Er bildet dünne Nädelchen oder filzige Massen mit einer charakteristischen, intensiv violetten Farbe. Daran kann Elyit eindeutig identifiziert werden. Er ist meist mit Lanarkit oder Hydrocerussit vergesellschaftet. Manchmal bildet dieses Blei-Kupfer-Sulfat einen erdigen Saum um mehr oder weniger korrodierten Bleiglanz.

Hydrocerussit ($Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$): Dieser wasserhaltige Cerussit kommt sehr vielgestaltig vor. Er kann weiße amorphe Krusten bilden. Auch lattenförmige, weiße bis fast farblos durchsichtige Kriställchen sind möglich. Häufig sind Aggregate, die aus winzigen blättrigen Kristallen bestehen und einen permuttartigen Glanz aufweisen (Abb. 21).

Lanarkit ($Pb_2(SO_4)O$): Auch Lanarkit ist ein häufiger Begleiter von Elyit. Er bildet feinfilzige Massen von winzigsten, weißen Kriställchen oder kleine nadelige Kristallrasen.

Leadhillit und **Susannit** ($Pb_4(SO_4)(CO_3)_2(OH)_2$) sind rein optisch nicht voneinander zu unterscheiden. Beide bilden kleine sechseckige Kriställchen oder kugelige Massen, die aus mehreren miteinander verwachsenen Einzelindividuen bestehen. Die Farbe reicht von weiß über blassgelb bis hin zu hell cognacfarben (Abb. 23).

Massicotit (PbO): Das Mineral mit der gleichen chemischen Formel wie Lithargit ist Massicotit (Kristallform aber orthorhombisch); es ist bei niedrigeren Temperaturen entstanden (Keim et al. 2018), kommt als blassgelbe bis gelblich-fleischfarbene Krusten oder porzellanähnliche Massen vor und ist häufiger als der Lithargit (Abb. 24 und 25).

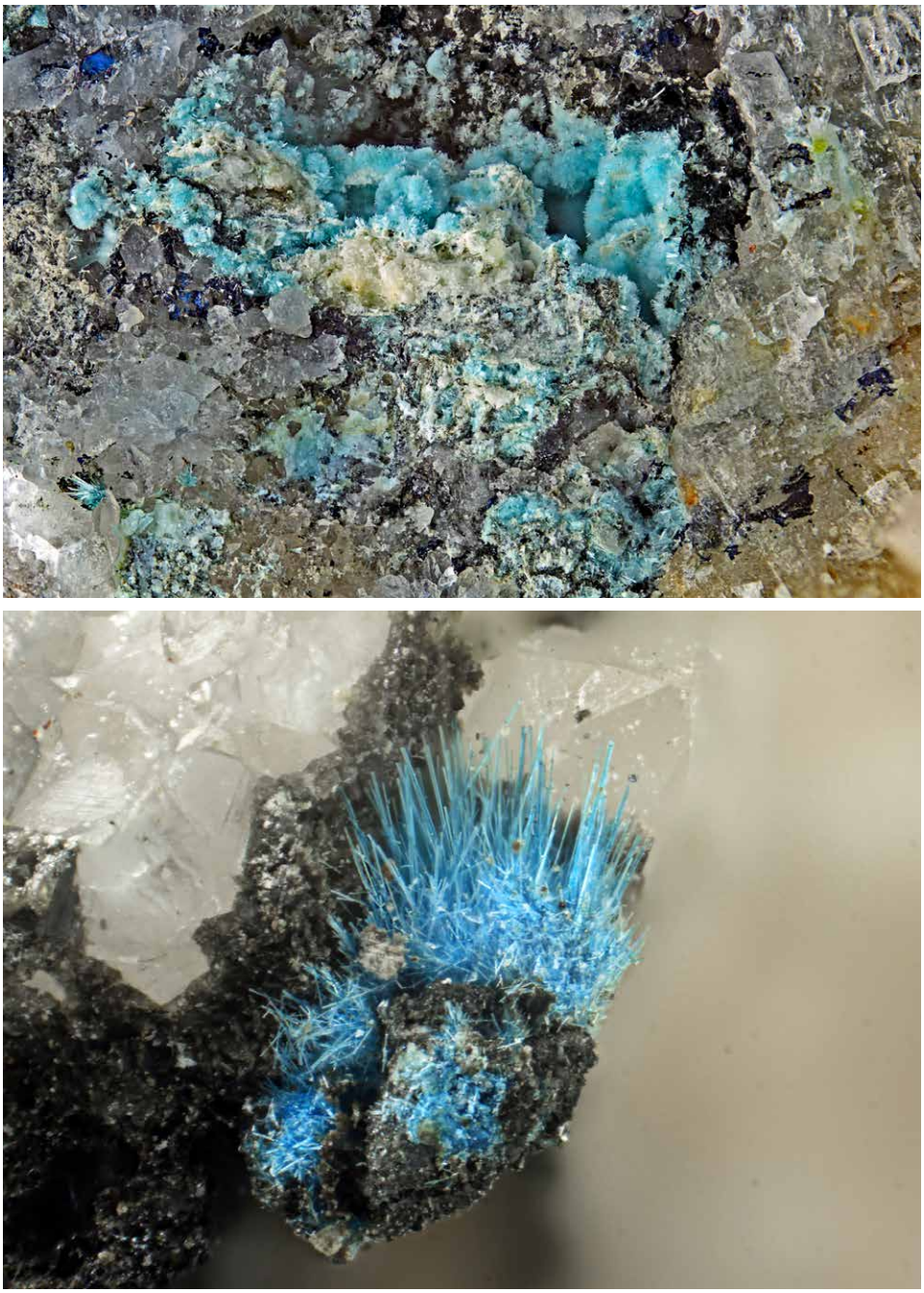

Abb. 17: Caledonit vom Altemannfels (Bildbreite ca. 3,5 mm und ca. 1,5 mm). **Fig. 17:** Caledonite from the Altemannfels. (Fotos / photography: H. Becherer).

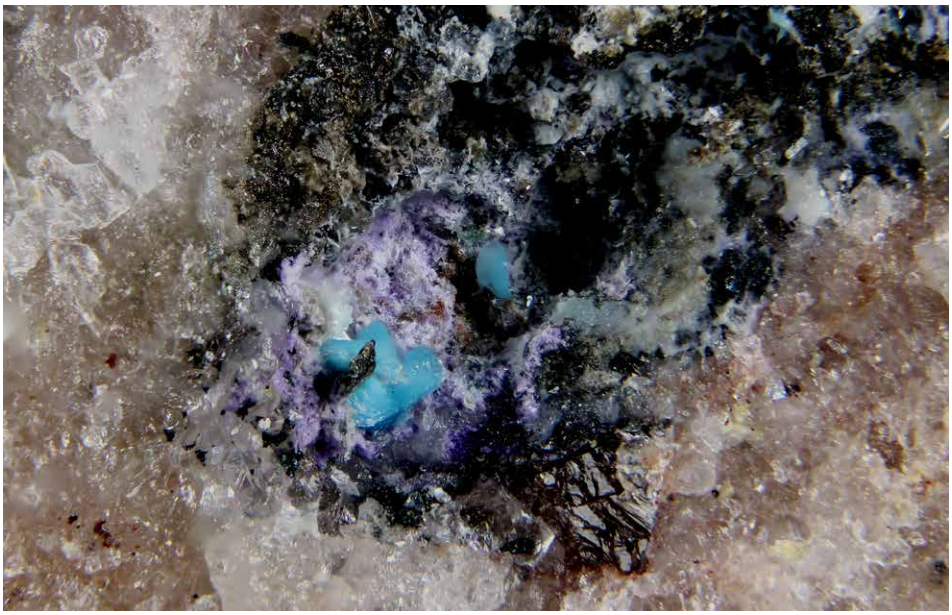

Abb. 18: Leuchtender blauer Chenit mit violettem Elyit, Fundort: Halden am Altemannfels (Bildbreite ca. 2 mm). **Fig. 18:** Light blue chenite upon purple elyite, locality: mining dumps at the Altemannfels. (Foto / photography: H. Becherer).

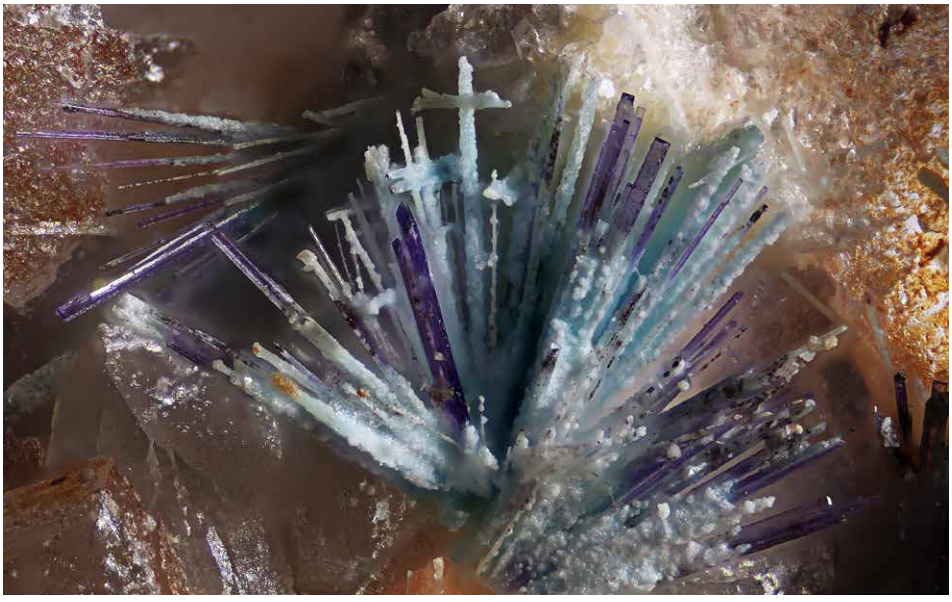

Abb. 19: Elyitnadeln, teilweise in Chenit umgewandelt (Bildbreite ca. 1,7 mm) (Fotos: H. Becherer). **Fig. 19:** Needles of elyite, partly transformed to light blue chenite. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 20: Eylit vom Altemannfels (Bildbreite Bildbreite ca. 2,5 mm / ca. 3 mm / 1,5 mm / 4,5 mm) (Fotos: H. Becherer). **Fig. 20:** Elyite from the Altemannfels. (Fotos / photography: H. Becherer).

Lithargit (PbO): Dieses Bleioxid wurde bei höheren Temperaturen gebildet (Keim et al. 2018). Die Kristallform ist tetragonal. Unscheinbare rote Krusten sind häufig. Selten zeigen sich winzige Kriställchen von intensiv roter Farbe.

Minium (Mennige) (Pb_3O_4 / $Pb^{2+}{}_2Pb^{4+}O_4$) ist wegen seiner auffälligen, leuchtend orangeroten Farbe bereits auf den Halden ohne Lupe zu entdecken (Abb. 26 und 27). Minium und Massicotit zusammen auf einem Stück sind gute Anzeiger dafür, dass auch der begehrte Elyit vorkommen kann. Minium bildete sich aus Cerussit, bei dem durch die Hitzeeinwirkung der Karbonatanteil ausgetrieben wurde. Daher liegen hier oft Pseudomorphosen nach Cerussit vor (Abb. 26). Es treten aber auch amorphe, erdige Varietäten auf.

Plattnerit (PbO_2): Markl (2017) beschreibt vom Altemannfels Plattnerit als seltene, schwarzmetallische Nadelaggregate, welche zusammen mit Massicotit auftreten.

Shannonit ($Pb_2O(CO_3)$): Hier handelt es sich eigentlich um einen Cerussit, bei dem die Hitze nicht ausreichte, um das ganze Carbonat auszutreiben. Entsprechend bildet er praktisch immer Pseudomorphosen nach Cerussit, dem Ausgangsmaterial. Die Kristalle sind porzellanartig weiß, manchmal etwas gelblich und immer undurchsichtig (Abb. 28).

Abb. 21: Hydrocerussit (Bildbreite ca. 4,5 mm), im Foto rechts zusammen mit rötlichem Massicotit (Bildbreite ca. 3,5 mm). **Fig. 21:** Hydrocerussite, in the photo on the right together with reddish massicotite. (Fotos / photography: H. Becherer).

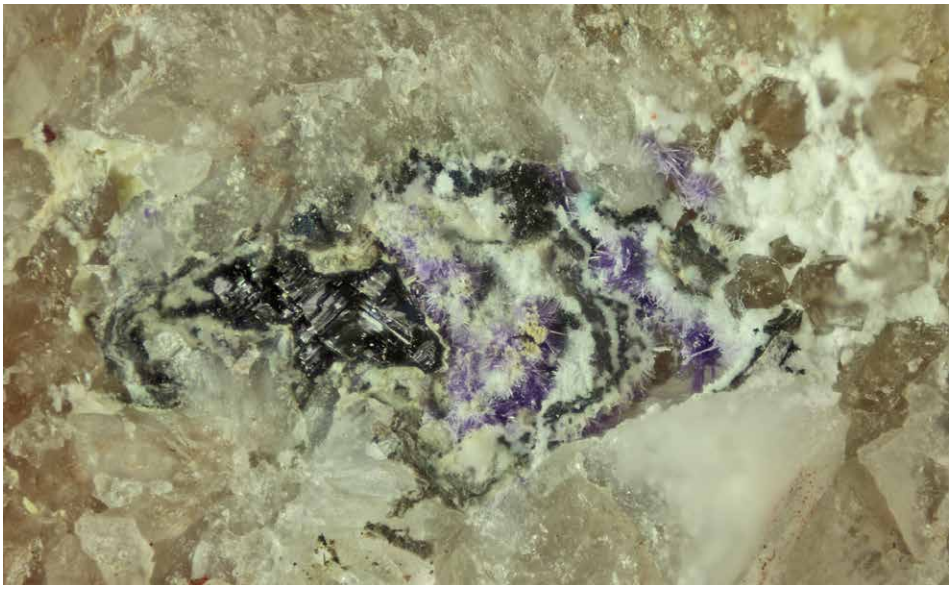

Abb. 22: Weiße, feine Nadeln von Lanarkit neben violettem Elyit auf schwarzem Galenit, alles in einer durchscheinenden Matrix von Quarz (Bildbreite ca. 3,5 mm). **Fig. 22:** White needles of Lanarkite next to purple Elyite, both upon galena, matrix is transparent quartz. (Foto / photography: H. Becherer).

Scotlandit ($Pb(SO_3)$) tritt am Altemannfels in hell- bis dunkelbraunen Kristallaggregaten oder Einzelkristallen auf.

Blei-Nitrate ($Pb_{13}(O_8(OH)_6(NO_3)_4)$ und $Pb_2(OH)_3NO_3$): Markl (2017) berichtet, dass außerdem zwei weltweit äußerst seltene Pb-Nitrate auftreten. Das eine ist blass- bis hellgelb und pseudomorph nach Cerussit, das andere nur von Badenweiler bekannt und erinnert an plattige Hydrocerussit-Kristalle.

Abb. 23: Leadhillit/Susannit mit Linarit, Halden auf der Sophienruhe (Bildbreite ca. 2,5 mm) und Leadhillit/Susannit, Halden der Grube Hausbaden (Bildbreite ca. 3 mm). **Fig. 23:** Leadhillite/Susannite with blue linarite from the mine dumps of the Sophienruhe and from the Hausbaden mine. (Fotos / photography: H. Becherer).

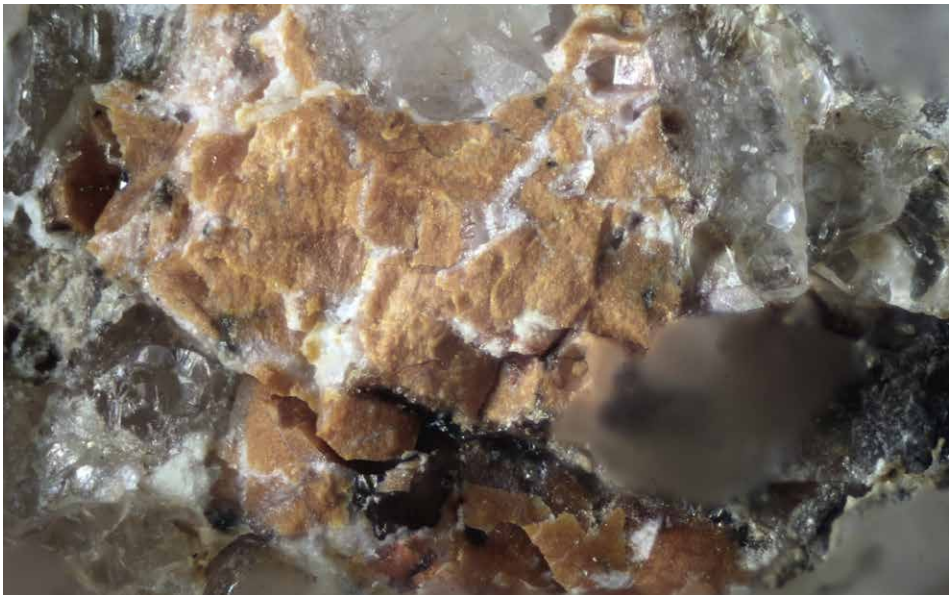

Abb. 24: Massicotit auf Quarz (Bildbreite ca. 4 mm), Fundort: Halden beim Altemannfels. **Fig. 24:** Massicotite upon quartz (width of picture corresponds to 4 mm), localitiy Altemannfels. (Foto / photography: H. Becherer)

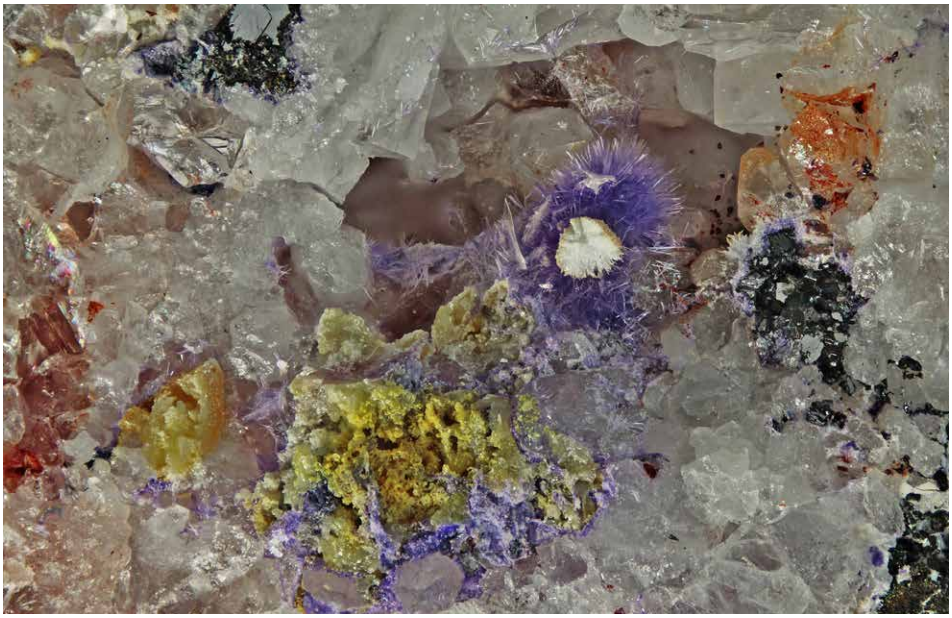

Abb. 25: Gelblicher Massicotit und lilafarbener Elyit (Bildbreite ca. 4,5 mm), Fundort: Halden beim Altemannnfels. **Fig. 25:** Yellow Massicotite and purple Elyite upon quartz with galena; localitiy Altemannfels. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 26: Minium / Mennige pseudomorph nach Cerussit (Bildbreite ca. 6 mm). **Fig. 26:** Minium with the shape of cerussite. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 27: Minium / Mennige füllt einen Hohlraum (ehemals Galenit) aus (Bildbreite ca. 1 cm). **Fig. 27:** Minium fills cavity of former galena. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 28: Porzellanweißer Shannonit, pseudomorph nach Cerussit (Bildbreite ca. 3 mm und 4 mm); Fundort Altemannfels. **Fig. 28:** Porcelain-white shannonite with the shape of cerussite from the Altemannfels. (Fotos / photography: H. Becherer).

Begleitminerale: Die typischen Minerale der Feuersetzparagenese werden sowohl an der Sophienruhe, als auch auf den Halden der alten Abbaue im Bereich des Altemannfelsens von Mineralen begleitet, welche auch an anderen Stellen in Badenweiler außerhalb der feuergesetzten Bereiche vorkommen. Diese Begleiter sollen hier ebenfalls kurz vorgestellt werden.

Anglesit ($PbSO_4$): Wird nach Keim et al. (2018) nicht oder kaum beim Feuersetzen umgewandelt. Er kommt ab und zu in Gesellschaft von Elyit in kleinen farblosen bis weißen, pseudo-oktaedrischen Kriställchen vor (Abb. 29 und 30).

Linarit ($PbCu(SO_4)(OH)_2$) (Abb. 31): Üblicherweise tritt dieses Blei-Kupfer-Sulfat in der Nähe von korrodiertem Bleiglanz und Chalkopyrit auf. Linarit kann sich auch zusammen mit den anderen typischen Mineralen durch Feuersetzen gebildet haben. Auf den Halden bei Badenweiler ist er weitverbreitet, auf denen mit Feuersetzmaterial hingegen tritt er recht selten auf.

Mimetesit ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$): Mimetesit ist entlang des Quarzriffs von der Grube Hausbaden bis zur Sophienruhe weit verbreitet. So ist er auch am Altemannfels zu finden, und zwar in gelben bis orangefarbenen, kugeligen Aggregaten (Abb. 32) oder als kleine prismatische Kristalle, deren Habitus an Quarzkristalle erinnert (Abb. 9).

Plumbobaryt (Ba, Pb (SO_4)): Beim „Bleibaryt“ handelt es sich um einen Mischkristall zwischen Anglesit und Baryt, somit um einen bariumhaltigen Anglesit oder um einen bleihaltigen Baryt. Die Kristallform ist orthorhombisch und demnach bildet er kleine Tafeln oder blockartige, meist undurchsichtige Kristalle. Die Farbe ist porzellanweiß (Abb. 33).

Pyromorphit ($Pb_5(PO_4)_3Cl$): Pyromorphit ist in allen Bereichen des Reviers von Badenweiler weit verbreitet (Abb. 9 A). So ist er auch am Altemannfels und auf der Sophienruhe steter Begleiter der Feuersetzparagenese. Allerdings sitzt er fast nie zusammen mit diesen Mineralen auf demselben Stück. Häufig sind graugrüne Krusten auf Baryt und zelligem Quarz, ebenso häufig sind aber auch gut ausgebildete Kriställchen, die jedoch kaum die leuchtenden Farben zeigen, wie das bei den übrigen Fundorten von Badenweiler der Fall ist (Abb. 34 und 35).

Wulfenit ($PbMoO_4$): Zusammen mit Pyromorphit kommt das Bleimolybdat Wulfenit auch hier in kleinen, dünntafeligen, orangefarbenen Kristallen vor (Abb. 36 und 37).

Silber, gediegen (Ag): Als große Rarität tritt gediegenes Silber auch am Altemannfels in winzigen Hohlräumen neben korrodiertem Bleiglanz auf (Abb. 38). Das seltene Auftreten von gediegenem Silber lässt sich durch die generelle Silberarmut des Galenits von Badenweiler leicht erklären.

Abb. 29: Pseudo-oktaedrischer Kristall, Grube Hausbaden (Bildbreite ca. 2,5 mm), vermutlich Anglesit oder Bleinitrat. **Fig. 29:** Pseudo-octahedral crystall, presumably anglesite or lead nitrate. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 30: Anglesit oder Bleinitrat mit nadeligem Elyit, Grube Hausbaden (Bildbreite ca. 2 mm). **Fig. 30:** Anglesite or lead nitrate with needles of elyite. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 31: Schön ausgebildete Linaritkristalle von der Grube Hausbaden (Bildbreite ca. 2,5 mm und ca. 1,5 mm).
Fig. 31: Well shaped crystalls of linarite from the Hausbaden mine. (Fotos / photography: H. Becherer).

Abb. 32: Das Bleiarsenat Mimetesit vom Quarzriff am Altemannfels (Bildbreite ca. 9 mm).
Fig. 32: The lead-arsenate mineral mimetesite from the „quartz-reef“ near the Altemannfels locality. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 33: Plumbobaryt von der Sophienruhe (Bildbreite ca. 3 mm und ca. 1,5 mm).
Fig. 33: Plumbobarite from the mining dumps at the Sophienruhe. (Fotos / photography: H. Becherer).

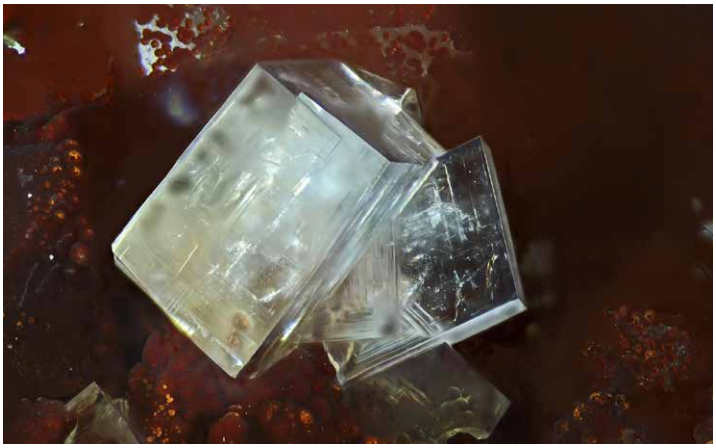

Abb. 34: Nadeliger, fahlgrüner Pyromorphit vom Altemannfels (Bildbreite ca. 9 mm). **Fig. 34:** Acicular pale green pyromorphite from the geological site Altemannfels. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 35: Kugeliger, hellgrüner Pyromorphit vom Altemannfels (Bildbreite ca. 5 mm). **Fig. 35:** Globular light green pyromorphite from the geological site Altemannfels. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 36: Kleine honiggelbe Wulfenit-Tafel (rechts der Bildmitte) neben fahlgrünem Pyromorphit auf Quarz (Bildbreite ca. 7 mm). **Fig. 36:** Small honey yellow plate of wulfenite next to pale green pyromorphite. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 37: Honiggelber Wulfenit von der Grube Hausbaden (Bildbreite ca. 2,5 mm). **Fig. 37:** Honey yellow wulfenite from the Hausbaden mine. (Foto / photography: H. Becherer).

Abb. 38: Locken von gediegenem Silber auf korrodiertem Bleiglanz vom Altemannfels (Bildbreite ca. 1,5 mm). **Fig. 38:** Tresses of native silver upon corroded galena from the geological site Altemannfels. (Foto / photography: H. Becherer).

6. Zusammenfassung

Beim berühmten Quarzriff von Badenweiler handelt es sich um den auffälligsten und morphologisch markantesten Abschnitt der Schwarzwald-Randverwerfung des Oberrheingrabens, weil dort ein bis 35 m mächtiger, steilstehender Quarzgang der raschen Erosion am Grabenrand Widerstand entgegensetzt und somit seine Umgebung weit überragt. Die darin aufsetzenden Bleierzgänge waren über rund zwei Jahrtausende hinweg Ziel des Bergbaus. Die wirksamste Methode, Erze in stark quarzhaltigen Gesteinen zu gewinnen, ist die im Bergbau seit mindestens 1700 v. Chr. angewendete Methode des Feuersetzens.

Die feuergesetzten Abbaue bei Badenweiler sind zwar noch nicht archäologisch datiert, sie sind aber mindestens dem Mittelalter zuzuordnen; einige können in der Zeit bis zum 18. Jh. entstanden sein. Auch römische Erzgewinnung ist sehr wahrscheinlich, noch ältere ist denkbar. Nur mit dieser in Europa seit der Antike angewendeten Abbaumethode war es – in der Zeit vor Erfindung von Sprengstoffen und pressluftgetriebenen Bohrhämmern – möglich, dem harten und zähen, quarzreichen Gestein das begehrte Silber-, Blei- oder Kupfererz mit einem vertretbaren Aufwand zu entringen. Dadurch hat sich neben beeindruckenden Feuersetzabbauen rund ein Dutzend verschiedener neuer Minerale gebildet, die auch im weltweiten Vergleich sehr selten sind. Diese sind zwar meist winzig klein,

unter dem Mikroskop aber eine wahre Augenweide und daher von besonderem Interesse für Mineralogen und Sammler. Aufgrund der Entstehung der durch das Feuersetzen entstandenen, typischen Minerale kann man in Erwägung ziehen, diese als „anthropogen gebildete“ Minerale einzustufen. Es gibt aber einige Fundorte, wo sie sich aufgrund besonderer Bedingungen auch auf natürliche Weise und ganz ohne menschliches Zutun entwickelt haben, so z. B. in Tsumeb (Namibia). Am mineralogischen Institut der Universität Tübingen wurden vor einigen Jahren Experimente durchgeführt, welche die Prozesse der Entstehung der durch Feuersetzen gebildeten Mineralien erforschen und erklären sollten. Dabei gelang es, innerhalb von wenigen Tagen, ja teilweise sogar innerhalb von wenigen Stunden, typische Feuersetzminerale wie Chenit, Elyit und Hydrocerussit „herzustellen“ (Keim et al. 2018).

Die Spuren dieser Abbaumethode können bei Badenweiler im Wald oberhalb östlich der Rehaklinik Hausbaden gut studiert werden. In den dortigen Quarzfelsen befinden sich etliche mehr oder weniger ovale, große und kleinere Stollen und Versuchsabbaue. In vielen alten Feuersetzabbauen wurde Jahrhunderte lang auch Mineraliensammlerei betrieben, andernorts verhinderte die kavernöse Struktur des Ganges, der auch Baryt und Fluorit führt, die Ausbildung schöner glatter Stöße, welche sonst typisch für das Feuersetzen sind.

Abb. 39: Violetter Elyit, das in Folge von Feuersetzen gebildete auffallende wasserhaltige Blei-Kupfer-Sulfat, neben transparentem Anglesit auf milchigem und durchscheinendem Quarz; Fundort: Halden am Altenmannfels. Bildbreite: 2,5 mm. **Fig. 39:** Purple elyite, the eye-catching hydrous lead-copper-sulphate formed by fire setting, next to a transparent crystal of anglesite; locality Altemannfels. (Foto / photography: H. Becherer).

An anderen Stellen, über und unter Tage, sind perfekt ovale oder gewölbeartige Abbaue entstanden. Neben diesen gut erhaltenen kulturhistorischen Denkmalen treten auf den alten Bergbauhalden, auf die auch der Abraum vom Feuersetzen verkippt worden war, zahlreiche bemerkenswerte, seltene Minerale der sog. Feuersetzparagenese auf, von denen das Blei-Sulfat Elyit das bekannteste und markanteste ist (Abb. 39).

Dank

Für ihre freundliche Unterstützung danken wir herzlich folgenden Herren: Roland Kleinander (Staufen) für die Information über die Analyse des im Umwandlung zu Chenit begriffenen Elyits; die EDX-Analyse wurde von Herrn G. Blass (Eschweiler) durchgeführt; Dr. Helge Steen (Buggingen) für die Durchsicht des Manuskripts und Matthias Zizelmann (Alpirsbach) für die Zurverfügungstellung von Fotographien.

Zitierte und weiterführende Literatur

Agricola, G. (1556): Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. – Vollständige Ausgabe nach dem lateinischen Original von 1556. – 610 S., zahlr. Abb.; München (DTV 1977).

Bax, K. (1981): Schätze aus der Erde. Die Geschichte des Bergbaus. – 359 S., 18 Abb.; Düsseldorf, Wien (Econ).

Becherer, H. & Konrad, W. (1988): Der historische Bergbau und die Mineralien von Badenweiler im Schwarzwald. – Emser Hefte, 1998/2: 2–32, zahlr. Abb.; Haltern.

Berg, D. (1961): Geologie des Schwarzwaldrandes zwischen Badenweiler und Kandern. – Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br., 51 (1): 5–40; Freiburg i. Br.

Beyer, A.(1794): Geognostische und bergmännische Bemerkungen auf einer im Jahre 1788 gemachten Reise aus dem churfürstl. sächs. Erzgebirge in die hochfürstl. markgräflich badenschen Lande. Beyträge zur Bergbaukunde I: S. 1–78; Dresden (Waltherische Hofbuchhandlung).

Hägermann, D. (1984): Deutsches Königtum und Bergregal im Spiegel der Urkunden. Eine Dokumentation bis zum Jahre 1272. – Der Anschnitt, Beih. 2 (Veröff. Dt. Bergbau-Museum Bochum, Nr. 30): 13–25; Bochum.

Henglein, M. (1924): Erz- und Minerallagerstätten des Schwarzwalds. – 196 S., 27 Abb., zahlr. Abb.; Stuttgart (Schweizerbart).

Keim, M., Gassmann, B. & Markl, G. (2018): Formation of basic lead phases during firesetting and other natural and man-made processes.– American Mineralogist, 102: 1482–1500, 10 Abb., 6 Tab.; Washington, DC.

Kirchheimer, F. (1971) Das Alter des Silberbergbaus im südlichen Schwarzwald. – 35 S.,17 Abb.; Freiburg i. Br. (Kricheldorf).

Kirchheimer, F. (1976): Bericht über Spuren römerzeitlichen Bergbaus in Baden-Württemberg. – Aufschluss, 27: 361–371, 3 Abb.; Heidelberg.

Kneer, S. (2006): Geochemische Untersuchungen der Gangartmineralisationen im Bergbaurevier Badenweiler–Sehringen. – Diplomarbeit (unveröff.) Univ. Tübingen: 72 S., 63 Abb., 14 Tab., Anh.; Tübingen.

Liweh, Th. (1884): Anglesit, Cerussit, Linarit von der Grube Hausbaden. – Z. Krystallographie und Mineralogie IX, Heft 5 u. 6: 28 S., 15 Tab., 22 Abb.; Straßburg.

LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, RP Freiburg (2017): Erläuterungen den Blättern L 8110/L 8112 Müllheim/Freiburg im Breisgau Süd und L 8310/L 8312 Lörrach/Schopfheim mit Anteilen von L 8510 Weil am Rhein und L 8512 Bad Säckingen. – Kt. Mineral. Rohstoffe Baden-Württ. 1 : 50 000: 432 S., 196 Abb., 18. Tab., 4 Kt.; Freiburg i. Br. – [Bearbeiter: Kimmig, B., Werner, W., Elsässer, L., & Schmitz, M.].

Löwe, F. (1937): Die Bleierz-Felder der Kommerzienrat Theodor-Bergmann-Erben am Blauen. – Gutachten (unveröff., LGRB-Archiv): 57 S.; Göttingen.

Lüders, V. (1994): Geochemische Untersuchungen an Gangartmineralen aus dem Bergbaurevier Freiamt–Sexau und dem Badenweiler Quarzriff (Schwarzwald). – Abh. geol. Landesamt Baden-Württ., Bd. 14: 173–190, 8 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

Markl, G. (2017): Schwarzwald. Lagerstätten und Mineralien aus vier Jahrhunderten. – Bd. d 4 (Südlicher Schwarzwald): 879 S., zahlr. Abb.; Salzhemmendorf [Bode].

Metz, R., Richter, M. & Schürenberg, H. (1957): Die Blei-Zink-Erzgänge des Schwarzwaldes. – Beih. Geol. Jb., 29: 277 S., 113 Abb., 24 Tab., 15 Taf.; Hannover.

Metz, R. & Rein, G. (1958): Erläuterungen zur geologisch-petrografischen Übersichtskarte des Südschwarzwaldes 1 : 50.000. – 126 S. 10 Abb., 6 Tab., 4 Karten; Lahr (Schauenburg).

Osann, A. (1927): Die Mineralien Badens. – 238 S.; Stuttgart (Schweizerbarth).

Sandberger, F. (1858): Geologische Beschreibung der Umgebung von Badenweiler. – Beitr. Statistik innere Verw. Großh. Baden, 7: 20 S.; Carlsruhe (C. F. Müller).

Schlomann, Ch. & Steen, H. (1990): Neue Mineralfunde aus dem Bergbaugebiet von Badenweiler im Südschwarzwald. – Lapis 12/90: 13–20, 21 Abb., 1 Tab.; München

Slotta, R. (1983): Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 4: Der Metallerzbergbau, Teil I und II: 1520 S., zahlr. Abb.; Bochum (Deutsches Bergbau-Museum).

Steen, H. (2004): Geschichte des modernen Bergbaus im Schwarzwald: Eine detaillierte Zusammenstellung der Bergbauaktivitäten von 1890 bis zum Jahr 2000. – 485 S., zahlreiche Abb.; Norderstedt (Books on Demand).

Suhling, L. (1983): Aufschließen, Gewinnen, Fördern – Geschichte des Bergbaus. – 246 S., 84 Abb.; Reinbek (Rowohlt).

Veith, H. (1870, 1871): Deutsches Bergwörterbuch mit Belegen. – 600 S.; Breslau (Verlag W.G. Korn). – [Wörterbuch in zwei Bänden].

Wagenbreth, O. & Wächtler, E. (1990) (Hrsg.): Bergbau im Erzgebirge. Technische Denkmale und Geschichte. – 504 S., 358 Abb., 63 Tab.; Leipzig [Verlag f. Grundstoffindustrie].

Weisgerber, G. (1993b): Römischer Erzbergbau in Deutschland. – In: H. Steuer & U. Zimmermann (Hrsg.), Alter Bergbau in Deutschland, Sonderheft 1993 der Zeitschrift „Archäologie in Deutschland“: 55–62, 8 Abb.; Stuttgart (Theiss).

Werner, W. (2005): Auf diese Steine konnte man bauen. Römische Gesteinsnutzung in Südwestdeutschland. – In: Imperium Romanum. Roms Provinzen an Neckar, Rhein und Donau. – Begleitband zur Ausstellung des Landes Baden-Württemberg in Stuttgart 1. Okt. 2005 – 8. Jan. 2006: 393–398, 11 Abb.; Stuttgart (Archäol. Landesmuseum Baden-Württ., Hrsg.).

Werner, W. (2019): Oberflächennahe und tiefliegende Lagerstätten mineralischer Rohstoffe im Markgräflerland und im Dinkelberg-Gebiet. – Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 108: 77–209, 82 Abb.; Freiburg i. Br.

Werner, W. & Dennert, V., mit Beiträgen von Meyerdirks, U. & Tegel, W. (2004): Lagerstätten und Bergbau im Schwarzwald. Ein Führer unter besonderer Berücksichtigung der für die Öffentlichkeit zugänglichen Bergwerke. – 334 S., 240 Abb.; Freiburg i. Br. (L.-Amt für Geol., Rohst., Bergbau Baden-Württ.).

Werner, W. & Kaltwasser, S. (1994): Zur Geschichte des Bergbaureviers Freiamt-Sexau (Mittlerer Schwarzwald). – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., 14: 221–280, 19 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

Werner, W. & Matz, D. (1994): Beschreibung der Blei-Silbergrube „Caroline im Eberbächle“ und ihrer Bergbaugeschichte. – Abh. geol. Landesamt Baden-Württ., 14: 295–342, 17 Abb.; Freiburg i. Br.

Wittern, A. (1988): Eine typische Mineralparagenese durch Feuersetzen. – Der Aufschluss, 39: 317–318; Heidelberg.

Wittern, A. (1994). Sekundärmineralien durch Feuersetzen in Oberschulenberg, Bönkhausen, Bleialf und Badenweiler. – Aufschluss, 45: 36–42, 6 Abb.; Heidelberg.

Zimmermann, U. (1990): Die Ausgrabungen in alten Bergbaurevieren des südlichen Schwarzwalds. – Freiburger Universitätsblätter, 109: 115–146, 23 Abb.; Freiburg i. Br. (Rombach).

Zimmermann, U. (1993): Urgeschichtlicher Metallerzbergbau in Mitteleuropa. – In: Alter Bergbau in Deutschland (H. Steuer & U. Zimmermann, Hrsg.), Sonderheft Z. Archäologie in Deutschland: 48–54, 7 Abb.; Stuttgart (Theiss).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau

Jahr/Year: 2020-2021

Band/Volume: 110-111

Autor(en)/Author(s): Becherer Hansjörg, Werner Wolfgang

Artikel/Article: Feuersetz-Bergbau am Quarzriff bei Badenweiler 433-473