

*Die Mineralfundstelle Lengenbach
im Binnatal*

SEPARATDRUCK
AUS JAHRBUCH DES NATURHISTORISCHEN MUSEUMS
DER STADT BERN 1966-1968

Die Farbtafel der Lengenbacher Mineralien wurde gedruckt mit finanzieller Unterstützung der Urner Mineralienfreunde und des Naturhistorischen Museums Basel.

Die Mineralfundstelle Lengenbach im Binnatal

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung. H. A. STALDER	5
2. Die Geschichte der Mineralfundstelle Lengenbach	7
A. Historischer Bericht. JOS. IMHOF	7
B. Die wissenschaftliche Erforschung. H. A. STALDER	11
C. Die Arbeitsgemeinschaft Lengenbach H. A. STALDER	15
3. Die geologische Stellung der Mineralfundstelle Lengenbach. E. NIGGLI	21
4. Der Dolomit vom Lengenbach und seine Vererzung. S. GRAESER	26
5. Kurze Beschreibung der wichtigsten Lengenbacher Mineralien. S. GRAESER	31
6. Hyalophan vom Lengenbach. JOS. ARNOTH	40
7. Die Sulfosalze des Binnatales: Geochemie und Genese. S. GRAESER	46
8. Kristallchemie der Sulfosalze aus dem Lengenbach. W. NOWACKI	63
9. Literaturverzeichnis. W. NOWACKI u. a.	79

1. *Einleitung*

H. A. S TALDER

Im Binnatal (Wallis), im Wildbachgraben des Lengenbachs, zirka eine Stunde hinter dem Dörfchen Binn, liegt eine weltbekannte Mineralfundstelle. In der Blütezeit des bergmännischen Mineralienabbaus, in den Jahren 1900 bis 1912, konnten viele Museen und wissenschaftliche Institute der ganzen Welt mit Belegmaterial aus dieser einzigartigen Grube beliefert werden. Später zerfiel die Lagerstätte langsam, und Mineralfunde wurden zur Seltenheit. Erst 1958 erwachte die Grube aus ihrem Dornröschenschlaf, als die «Arbeitsgemeinschaft Lengenbach» durch ihren technischen Leiter und Konzessionär Jos. Imhof (Ried-Brig und Binn) die Fundstelle von Schutt säuberte und erneut für den Mineralienabbau herrichtete. Am Zustandekommen dieser Arbeitsgemeinschaft war das Naturhistorische Museum Bern massgebend beteiligt, und bis heute ist es der finanzkräftigste Teilhaber der Interessengemeinschaft geblieben. So war es ihm möglich, in den letzten Jahren eine ganz beachtliche Sammlung der äusserst seltenen Mineralarten des Lengenbachs aufzubauen. Mit der Neueröffnung der Grube setzte am Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Bern, das von Anfang an ebenfalls Teilhaber der Arbeitsgemeinschaft war, eine intensive wissenschaftliche Untersuchung des kostbaren Fundgutes ein. Über 50 wissenschaftliche Arbeiten, die irgendwie mit dem Lengenbach in Beziehung stehen, haben dieses Institut seither bereits verlassen.

Das Unternehmen der «Arbeitsgemeinschaft Lengenbach» stiess sowohl in Kreisen der Fachmineralogen als auch in einer bestimmten Öffentlichkeit auf ein recht grosses Interesse. Viele zogen selbst ins Binnatal und versuchten auf der Schutthalde der Minerallagerstätte Proben der seltenen Mineralarten zu finden – und dies recht oft mit gutem Erfolg. Wir glauben deshalb, dass es an der Zeit ist, einen allgemeinen Bericht über die Fundstelle zu veröffentlichen. Es soll einerseits ein Rechenschaftsbericht

der Arbeitsgemeinschaft über ihre elfjährige Tätigkeit als auch eine Zusammenfassung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in bezug auf die Lagerstätte sein. Die folgenden Beiträge wenden sich deshalb sowohl an den Fachmineralogen als auch an den interessierten Laien. Die ersten Aufsätze sollen einen Überblick über die Geschichte, über die geologische Stellung, über die petrographische Gliederung der Mineralfundstelle und über die hier vorkommenden Mineralarten geben. Der Natur dieser Beiträge entsprechend wurde weitgehend auf Literaturnachweise verzichtet. Dafür ist am Schluss ein Literaturverzeichnis aller wissenschaftlichen Arbeiten seit 1958, die irgendwie mit dem Lengenbach in Verbindung stehen, zusammengestellt. Die letzten drei Aufsätze sind wissenschaftliche Originalarbeiten. Geologische Kartenskizzen, Profile und Diagramme aller Art entsprechen dem neuesten Stand der geologischen Forschung im Binnatal.

2. Die Geschichte der Mineralfundstelle Lengenbach

A. HISTORISCHER BERICHT

JOS. IMHOF, STRAHLER

Die ersten Sondierungen in der später weltberühmt gewordenen Grube Lengenbach im Binnatal datieren zurück in die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts. Nur wurde damals nach Eisen und nicht nach den Mineralien geschürft. Im Jahre 1728 beauftragte der Walliser Landrat den Landeshauptmann J.-G. Courten, Experten ausfindig zu machen, um die Eisenlagerstätten des Tales zu untersuchen und auszubeuten. Zwei Jahre später erhielten deshalb die in Paris wohnhaften Engländer Mandel und Aston die Konzession zur Ausbeutung der Erzvorkommen im Binnatal. Dabei entdeckten die beiden auch die reichhaltigen Pyritadern im Dolomit vom Lengenbach und machten hier einen Sondierungsstollen, den Engländerstollen. Dieser wurde von Franz Jentsch 1902 bei Bohrarbeiten unerwarteterweise wieder entdeckt. Der Pachtvertrag mit den Engländern stiess im Volk auf grossen Widerstand, da die beiden sich nicht zur katholischen Religion bekannten. Es kam zu einem regelrechten Aufstand, und so wurde durch den Landrat im Jahre 1732 der Pachtvertrag mit den Engländern wieder gelöst.

Wie schon erwähnt, suchten die beiden Engländer nicht nach den Mineralien, sondern nach Eisen. Erst später, zu Beginn des 19. Jahrhunderts, entdeckten Mineralogen auf der Schutthalde des Engländerstollens verschiedene, damals noch unbekannt Mineralien. So begann die Fachwelt der Mineralogen auf diese einzigartige Lagerstätte aufmerksam zu werden.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts lebte in Binn Pfarrer Theodor Walpen, der selber sehr grosses Interesse an Mineralien hatte und auch einiges davon verstand. Auch sah er im «Strahlen» eine zusätzliche Verdienstmöglichkeit für die nicht gerade reiche Binner Bevölkerung. Der Pfarrer wurde von den erwähnten Mineralogen auf die Dolomitstelle im Lengenbach aufmerksam gemacht. Auf seine Anregung und Aufklärung hin wurde im Jahre

1900 die Dolomit-Aktiengesellschaft gegründet, die mit der Ausbeutung der Mineralien im Lengenbach begann. An der Aktiengesellschaft beteiligten sich nur Männer aus Binn, so die Brüder Franz und Leopold Jentsch, Anton Imhof (Vater des Schreibenden) und Leopold Tenisch. Franz Jentsch hatte die Mineralien zu bestimmen und zu bewerten, Anton Imhof war der Grubenleiter, Leopold Tenisch betätigte sich als Schmied (die Aktiengesellschaft besass eine eigene Schmiede) und Koch, und Leopold Jentsch besorgte die Buchhaltung. Wenn auch die Dolomit-Aktiengesellschaft nicht gerade ein Grossbetrieb war, beschäftigte sie immerhin acht Mann (Mineure und Handlanger). Auch war der technische Aufwand damals bescheiden; die Steinschneidemaschine, die von einem gewissen Dr. Krantz aus Deutschland an die Firma verschenkt wurde, hat sich aber doch in unsere Tage hinübergerettet und ist heute noch im Gebrauch. Gebohrt wurde von Hand, und die Mineure wetteiferten oft untereinander, wer am meisten Hammerschläge in einer bestimmten Zeit vollführen könne; auch die Treffsicherheit wurde geübt, indem man sich gegenseitig die Aufschlagflächen auf den Bohrern kontrollierte, denn je kleiner die Fläche, desto besser die Schlegelführung. Gesprengt wurde noch mit Schwarzpulver, seltener mit Dynamit. Das Sprengen mit Schwarzpulver war nicht leicht, da man immer auf ein trockenes Bohrloch achten musste. Der Schutt (etwa 99%) wurde mit hölzernen Schubkarren und Känneln, die aus grossen Baumstämmen gezimmert waren und in die der Bach hineingeleitet wurde, aus der Grube gebracht. So war das Wasser – wie noch heute – Freund und Feind zugleich, denn der im Sommer ziemlich viel Wasser führende Bach behinderte immer mehr die Arbeit in dem tieferliegenden Bergwerk, so dass eigens ein Mann angestellt werden musste, der von Hand das Wasser aus der Grube pumpen musste. Die ausgebeuteten Mineralien wurden täglich nach dem Weiler Giessen gebracht und hier den Interessenten zum Kauf angeboten. Die besten Käufer waren damals die Engländer, und so gingen die schönsten Mineralien ins Ausland. Einzig die Universität Freiburg im Üechtland hatte sich zu jener Zeit eine recht gute Sammlung aufgebaut. Damals war die Rendite viel grösser als

heute, denn die Preise der Lengenbach-Mineralien sind bis zur Zeit fast gleich geblieben, die Arbeitslöhne waren aber 20–30mal kleiner. Ein Mineur verdiente damals Fr. 2.– und ein Handlanger Fr. 1.80 im Tag plus Verpflegung (Mittagessen, das pro Tag und Mann etwa Fr. –.27 ausmachte). Auch die übrigen Unkosten waren sehr viel kleiner. Der Verfasser erinnert sich noch lebhaft an diese Zeit. Mit seinem Vater und Professor Solly ging er fast täglich in die Grube und sammelte sich hier seine ersten Schätze.

Es sei mir noch erlaubt, hier kurz eine Anekdote aus jener Zeit zu erzählen. Herr Franz Jentsch, der Kenner der Mineralien, war ein grossgewachsener, rothaariger Mann, nicht ohne persönlichen Ehrgeiz. Da die neuentdeckten Mineralien meistens nach dem Namen des Bestimmers oder Finders benannt wurden, neckten seine Mitarbeiter ihn oft, eines Tages werde es sicher noch einen Jentschit geben, was ihm natürlich schmeichelte. Eines Tages nun kam Professor Solly in die Grube, untersuchte verschiedene Steine und entdeckte auf einem Stein eine kleine rote Spinne. Auch der Herr Professor kannte die heimlichen Hoffnungen des Herrn Jentsch, lief mit dem Stein mit der kleinen Spinne zur Grube und rief: «Jentschit, Jentschit.» Grosse Aufregung zuerst, alles lief herbei, und dann ein riesiges Gelächter. Herr Jentsch nun fühlte sich in seiner Ehre sehr gekränkt und erschien drei Tage nicht mehr zur Arbeit. Erst nach langem Bitten und Flehen gelang es, Herrn Jentsch zu bewegen, die Arbeit wieder aufzunehmen.

Während des Ersten Weltkrieges wurden die Arbeiten in der Grube wegen der Absatzschwierigkeiten eingestellt. So begann die Grube allmählich zu verfallen, und die Lawinen füllten sie mit Schutt aus. Nur an einigen noch vorstehenden Felspartien fand man hin und wieder einige Mineralien.

Im Jahre 1945 hat der Schreibende in kleinem Umfang mit der Arbeit im Lengenbach wieder begonnen. Er stellte einige Arbeiter an, doch wurden die Kosten zu gross, und bald wurde die Arbeit wieder eingestellt. Aus dieser Zeit stammt der grösste Realgar, der je im Lengenbach gefunden wurde (7 cm lang, 3 cm breit und 90 Gramm schwer, heute im Naturhistorischen Museum in Bern). Dieser Fund gab dem Schreibenden den Ansporn, in finanzkräfti-

gen Kreisen für den Lengenbach zu werben. In Herrn Dr. Grossglauser fand er im Jahre 1958 einen tüchtigen Förderer, der dann Herrn von Sinner, den damaligen Präsidenten der Museumskommission in Bern, aufsuchte und ihm den Plan zur Wiedererschliessung der Grube unterbreitete. Herr von Sinner war von der Idee begeistert, und so kam es im Jahre 1958 zur Gründung der «Bernischen Arbeitsgemeinschaft» für die Erschliessung der Lengenbachgrube. An dieser Arbeitsgemeinschaft beteiligten sich das Naturhistorische Museum Bern, das Mineralogische Institut der Universität Bern, das Bally-Museum Schönenwerd und der Verfasser. Vorerst wurde nun die Grube mit schweren Baumaschinen geräumt. Immer tiefer drang man in die Grube ein und stiess dabei auf eine Balkenlage aus der Zeit der Dolomit-Aktiengesellschaft. Dieses Balkenlager sollte damals die sieben Meter tiefe Grube abstützen. Eine alte Zeit schien wieder aufzuerstehen. Es wurde eine geräumige Baracke an geschützter Stelle errichtet, ein Rollwagen auf Geleisen führte den Schutt aus der Grube, und eine einfache Bachkorrektur wurde vorgenommen. So konnte man mit der Arbeit unter der Leitung des Schreibenden beginnen, und bald stiess man auf die alten Mineralienbänder vor und fand auch wieder längst nicht mehr gefundene Mineralien, wie etwa Baumhauerit, Jordanit, Hutchinsonit, Lengenbachit und andere mehr. Es dauerte nicht lange, da entdeckte man neue, auf der Welt einmalige Mineralien, die oft nach dem Namen der Männer benannt wurden, die sich um die Grube verdient gemacht haben, wie etwa Sinnerit, Nowackiit, Imhofit.

B. DIE WISSENSCHAFTLICHE ERFORSCHUNG

H. A. STALDER

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde auf Veranlassung einiger Geistlicher, des Domherrn MURITH und der Pfarrer J.-V. MUTTER und W. BRUNNER, im Lengenbach (wieder) gesprengt. Damit begann die wissenschaftliche Untersuchung der hier gefundenen Mineralien. CH. LARDY (1833) führt in seinem «Essai sur la constitution géognostique du St-Gothard» aus: «La dolomie de Binden renferme en outre du Feldspath adulaire, de l'arsenic sulfuré rouge et jaune, du zinc sulfuré jaune en beaux cristaux et une substance métallique d'un gris de plomb...» In den folgenden Jahren beschäftigten sich zahlreiche Wissenschaftler aus ganz Europa mit der Erforschung der Lengenbacher Mineralien, ganz besonders mit der «substance métallique d'un gris de plomb», d.h. mit den seltenen Arsen-Sulfosalzen. 1845 veröffentlichte DAMOUR die quantitative Analyse eines derben «Grauerzes» und nannte das Mineral Dufrénoysit. Er brachte sein Mineral aber fälschlicherweise mit einem später erhaltenen kubischen Kristall (Binnit) in Zusammenhang. In den folgenden Jahren wurden von WALTERSHAUSEN, KENNGOTT, DESCLOISEAUX, MARIGNIAC und andern weitere Sulfosalze beschrieben (Jordanit, Skleroklas und Binnit), wobei aber in der Verwendung der Namen keine Einigkeit herrschte. 1864 klärte G. VOM RATH diese Namensverwirrung auf und definierte die Mineralarten Jordanit, Skleroklas (syn. Sartorit) und Binnit im heute gültigen Sinn. In den Jahren 1896 bis 1905 waren es vor allem H. BAUMHAUER aus Fribourg und der Engländer R. H. SOLLY, die sich intensiv mit den Lengenbacher Mineralien beschäftigten. In kurzer Folge konnten von den beiden neun neue Mineralarten erkannt, analysiert und goniometrisch vermessen werden. Damals ergab sich auch die Erkenntnis, dass Binnit identisch ist mit dem Arsenfahlerz Tennantit (PRIOR und SPENCER). Es war die Zeit, als das Strahlersyndikat unter der Leitung von FRANZ JENTSCH († 1907) die Grube mit gutem Erfolg auf Sammlungsstufen abbaute (siehe vorgängiger Bericht). Die regel-

mässige Belieferung der mineralogischen Institute und Museen mit Lengenbacher Mineralien hörte aber ungefähr 1912 auf, sie wurde sporadisch und versiegte später ganz. Über 15 Jahre erschienen in regelmässiger Folge trotzdem weitere Arbeiten über morphologische und chemische Erkenntnisse in bezug auf die Mineralien. Zudem bemühten sich viele Forscher um die Zusammenfassung der bekannten Tatsachen.

Mit dem Ausbruch des Ersten Weltkrieges wurde die Mineralienausbeute im Lengenbach ganz eingestellt. Darauf verfiel die Fundstelle langsam. Unwetter und Lawinen schütteten die Grube mit Holz, Schutt und Gesteinsblöcken immer weiter zu. Dies war der Zustand der Lagerstätte, als H. BADER 1930–1933 die Feldarbeiten zu der zweiten Monographie (die erste stammte von L. DEBUISSONS, 1909) über die Minerallagerstätten im Binnatal durchführte. 1936 wurde im Zusammenhang mit den vielen Arbeitsbeschaffungs-Projekten auch die Wiedererschliessung der Grube Lengenbach ins Auge gefasst. Unter der Leitung von P. NIGGLI, dem damaligen Präsidenten der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, kam es aber lediglich zur Ausarbeitung einer Expertise.

Anfangs der 1930er Jahre trat in der wissenschaftlichen Bearbeitung der Lengenbacher Mineralien insofern ein Wandel ein, als auch hier neuere Untersuchungsmethoden die alten morphologischen und chemischen abzulösen und zu ergänzen begannen. So erlaubten röntgenographische Strukturuntersuchungen die auf goniometrischem Wege gefundenen Symmetrien genau zu prüfen. Von vielen Mineralarten konnten die Gitterkonstanten berechnet werden. Durch die grosse Ähnlichkeit der Debye-Scherrer-Diagramme offenbarten sich die beiden Isotypen Jordanit/Geokronit und Seligmannit/Bournonit. Schon 1928 gab MACHATSCHKI eine erste vollständige Strukturbestimmung des Antimon-Fahlerzes Tetraedrit, das ein dem Binnit isotopes Gitter aufweist. Mit den röntgenographischen Untersuchungen erschienen in der Fachliteratur auch die ersten erzmikroskopischen Beschreibungen der Lengenbacher Sulfosalze (SCHNEIDERHÖHN, RAMDOHR, GIUSCA). Zudem machten sich verschiedene Forscher Gedanken über die

Genese der einzigartigen Lagerstätte (HUTTENLOCHER, BADER). Zu Beginn der 1940er Jahre trat in der Erforschung der Lengenbacher Mineralien eine Ruhepause ein (mit Ausnahme der röntgenographischen Arbeiten von BERRY). Dies lag zum Teil daran, dass die Fundstelle kein neues Untersuchungsmaterial mehr liefern konnte. Dabei waren noch sehr viele mineralogische und genetische Fragen ungelöst.

Ende der 1950er Jahre erfreuten sich die Lengenbacher Mineralien plötzlich wieder eines regen Interesses seitens der Mineralogen. HELLNER und ROESCH gelang es, viele dieser Mineralarten auf hydrothermale Wege zu synthetisieren. In Fribourg gab NIKKEL eine Übersicht über den Stand des damaligen Wissens (Sulfosalze). Er leitete damit eine neue Serie von morphologischen Arbeiten seines Instituts über diese Mineralgruppe ein. An verschiedenen Orten wurden die röntgenographischen Arbeiten über die Lengenbacher Sulfosalze wieder aufgenommen. Zu dieser Zeit (1958) entstand die «(Bernische) Arbeitsgemeinschaft Lengenbach». Sie sorgte für neues Untersuchungsmaterial, das die Grundlage für die grosse wissenschaftliche Arbeit bildete, die von da an am Mineralogisch-petrographischen Institut in Bern verrichtet wurde. Neben der modernen Röntgentechnik konnte hier auch erstmals die Elektronen-Mikrosonde eingesetzt werden, die imstande ist, von kleinsten Mengen einer Substanz brauchbare quantitative chemische Analysen zu liefern. Im Laufe von 10 Jahren gelang es NOWACKI und Mitarbeitern (Abteilung für Kristallographie und Strukturlehre), die Gitterkonstanten aller bekannten Lengenbacher Sulfosalze zu prüfen oder erstmals zu bestimmen. Von den meisten Mineralarten konnten zudem vollständige Strukturbestimmungen geliefert werden, die wichtige Erkenntnisse beisteuern zum Verständnis der Kristallographie aller Sulfosalze. Mit dem Anwachsen der neuen Mineralausbeute wurde es auch möglich, erstmals seit langer Zeit neue Mineralarten zu erkennen (NOWACKI, GRAESER u.a.). Sie wurden sofort ins Forschungsprogramm einbezogen. 1958 bis 1964 führte GRAESER als Dissertationsarbeit unter Leitung von E. NIGGLI seine Feldarbeiten durch, die zur dritten Monographie über die Mineralfundstelle im Dolomit des Binn-

tales führten. Zur weiteren Abklärung der genetischen Probleme um diese Lagerstätten zog der gleiche Autor in der letzten Zeit auch isotopengeologische Methoden heran. So ist die Forschung heute noch voll im Fluss, wobei ein eindeutiger Schwerpunkt derselben in Bern besteht.

C. DIE ARBEITSGEMEINSCHAFT LENGENBACH

1958-1968

H. A. STALDER

Der Fund des Riesen-Realgarkristalls von Jos.Imhof lenkte 1945 die Aufmerksamkeit der Mineralogen plötzlich wieder auf den Lengenbach. In der Folge gelang es unserem Museum, den wohl schönsten und grössten Kristall dieser Mineralart zu erwerben. Er bildet heute ein Prunkstück unserer Sammlung. In den 1950er Jahren wurde dann recht oft der Wunsch geäussert, die einzigartige Fundstelle am Lengenbach wieder auszuräumen und auf Mineralien abzubauen. Zu dieser Zeit hatte R.von Sinner, damaliger Präsident unserer Museumskommission, den Wunsch, alle grossen, bei uns nicht vorhandenen Morione des klassischen Fundes vom Tiefengletscher (1868) zu erwerben, um diesen Fund so vollständig als irgend möglich in Bern zeigen zu können. Als Gegengabe für diese Morione sollten seltene Schweizer Mineralien angeboten werden. Da regte Dr. H. Grossglauser an, die Grube im Lengenbach wieder zu eröffnen, um so das gewünschte Tauschmaterial in die Hand zu bekommen. Dieser Vorschlag gefiel R. von Sinner und Dr. F. Küenzi, damaliger Direktor des Museums, fanden Unterstützung im Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Bern (Prof. E. Niggli und W. Nowacki) und gründeten mit diesem und dem Bally-Museum Schönenwerd zusammen die «Bernische Arbeitsgemeinschaft Lengenbach». Diese nahm unter der Leitung des Grubenkonzessionärs Jos.Imhof im Sommer 1958 die nötigen Räumungsarbeiten im Binnatal vor. Die erste Abbauperiode dauerte bis 1962. Bis dahin hatte man die meisten von früher bekannten Mineralarten wieder gefunden (mit Ausnahme allerdings von Marrit, Proustit und Liveingit). Dazu kamen neu Sinnerit (neue Mineralart), Molybdänglanz-3R und Wurtzit. Nachdem das Bally-Museum schon 1960 aus der Arbeitsgemeinschaft ausschied, konstituierte sich auf das Jahr 1963 hin eine neue, schweizerische «Arbeitsgemeinschaft Lengenbach», der nun auch das Naturhistorische Museum

Basel, Dr. F.Häfliger, Basel, und V.Sicher, Gurtellen, angehört.

1963 wurden zum zweiten Male grössere Räumungsarbeiten durchgeführt, die nun auch die Süd- und Westseite der Grube von allem Schutt und Geröll freilegten. Damit begann die zweite Abbauperiode, die in verschiedener Hinsicht sehr erfolgreich war. Erstmals seit Jahrzehnten wurde wiederum Marrit und Proustit gefunden, zusammen mit Xanthokon. An neuen Mineralarten konnten Wallisit, Nowackit und Imhofit aufgestellt werden. Ausserdem fand man zum erstenmal Bornit, Kupferkies, Markasit, Tetraedrit (erst 1968) und Lorandit. Ende 1966 wurde das Arbeiten hinten in der Grube, wo die beste Vererzungspartie ansteht, gefährlich; die Wände drohten einzustürzen. Die Arbeiten wurden deshalb weitgehend eingestellt, und eine bauliche Sanierung der Grube wurde vorbereitet. Um nicht ganz untätig zu sein, unternahm die Arbeitsgemeinschaft 1967 einen Abbauersuch auf Sulfosalze im Turtschi (zwischen Binn und Giessen). Dr. S.Graeser suchte hier vor allem den von ihm entdeckten Giessenit, der sich aber leider nicht wieder auffinden liess. Dafür konnten Stufen mit Molybdänglanz-3R, Geokronit, Bournonit und Boulangerit gewonnen werden. 1968 begann bei gleicher Zusammensetzung der Arbeitsgemeinschaft die dritte Abbauperiode. Zunächst mussten die Böschungen abgeflacht und die Wände heruntergeputzt werden. Die Mittelrippe wurde weggesprengt und die alte Abbaustelle in der sogenannten Zone 2, im nördlichen Grubenteil, wieder freigelegt. Nach dem Tieferlegen der Deponie und des Grubeneingangs waren Ende des Jahres 1968 etwa 750 m³ Fels für den Mineralienabbau in den kommenden Jahren hergerichtet.

Die ursprüngliche Idee von R.von Sinner, mit den Lengenbacher Mineralien Riesenmorione zurückzukaufen, wurde im Laufe der Zeit fallengelassen. Unser Museum erhielt die Möglichkeit, eine einzigartige Sammlung der seltenen Lengenbacher Mineralien aufzubauen und die Dubletten für einen allgemeinen Mineralientausch zu verwenden. Das Mineralogisch-petrographische Institut, speziell die Abteilung für Kristallographie und Strukturlehre unter Prof. W.Nowacki, richtete sein Forschungsprogramm weitgehend

Tabelle 1

Arbeitsaufwand Grube Lengenbach — Ausbeutungserfolg

Abbau- periode	Jahr	Arbeits- stunden	Mit Trax bewegte Kubaturen m ³	Bemerkungen	Anzahl gewonnene Stufen	
I.	1958	3140	1200	Erstellen einer Baracke	491	
	1959	1300	—	Installation einer Rollbahn	684	
	1960	1030	—	Missglückter Ab- bauversuch in den Stollen	301	
	1961	1460	—		339	
	1962	990	—		429	2244
	II.	1963	2190	1000	—	727
1964		934	—	Durchführung von Kernbohrungen zur Erforschung der Grube	577	
1965		880	—	do.	613	
1966		1655	—	Topographische Aufnahme der Grube	1098	
1967		500	—	Abbau(-versuch) auch im Turtschi	221	3236
III.	1968	?	2600	Umleitung des Baches	703	703

Tabelle 2

Verteilung der Mineralienausbeute

Abbau- periode	Ausbeute	Naturhist. Museum Bern	Min.-petr. Institut Bern	Imhof	Bally- Museum	Naturhist. Museum Basel	Dr. F. Häf- liger	V. Si- cher
I.	1958–1960	% 44,2	% 14,3	% 35	% 6,5	—	—	—
	1961–1962	30	20	50	—	—	—	—
II.	1963–1967	26 ² / ₃ 1966: 20	13 ¹ / ₃ 1966: 20	18	—	14	14	14
III.	1968 ff.	28	14	16	—	14	14	14

81

Tabelle 3

Ausgebeutete Sulfide und Sulfosalze: 1958–1968

	Bleiglanz	Binnit (= Tennantit)	Jordanit	Lengenbachit	Seligmannit	Dufrénoysit	Rathit	Baumhauerit	Skleroklas	Hutchinsonit	Arsen kies ¹	Auripigment	Realgar	Zinkblende	faseriges Sulfosalz ²	Verschiedene seltene Sulfide und Sulfosalze
1958	o	xx	x	—	—	xx	xx	x	xxxx	x	—	x	xxxx	xxxx	o	Smithit (1)
1959	o	xxx	o	o	—	xx	xx	xx	xxxx	xx	o	xx	xxxx	xxx	xx	Trechmannit (1)
1960	—	xx	o	x	—	xx	xx	x	xx	xx	—	x	xx	xxx	xxx	Hatchit (1), Wurtzit (1)

1961	-	xx	-	o	o	x	xx	xx	xxxx	x	-	x	xx	xx	xx	-	
1962	-	xx	-	-	-	xx	xx	xx	xxxx	xx	xx	xx	xxx	xx	x	Molybdänglanz-3R (2) ³ , Sinnerit (1), Wurtzit (1)	
1963	x	xx	xx	xx	x	xx	xx	xx	xxxx	-	xx	xx	xxxx	xxxx	xx	Proustit (1), Xanthokon (1), Marrit (2), Wurtzit (3), Markasit (1)	
							I	II									
1964	xx	xxx	xxx	xx	o	xx	xx	xx	xxxx	x	-	o	xxxx	xxxx	o	Marrit (1), Sinnerit (2), Trechmannit (4), Wurtzit (2)	
1965	x	xxx	x	o	o	o	xxx	xx	xxxx	xxxx	xx	-	x	xxxx	xxx	o	Hatchit (3), Imhofit (26), Sinnerit (5), Smithit (10), Wallisit (2), Wurtzit (1)
1966	o	xxxx	x	o	xx	x	xx	xxxx	xxxx	xxxx	x	-	xx	xxxx	xxxx	o	Hatchit (4), Imhofit (3), Lorandit (3), Sinnerit (6), Smithit (6), Trechmannit (3)
1967	o	x	o	-	-	-	o	-	x	x	x	o	x	xx	x	-	
1968	xxxx	xx	xx	x	x	x	x	xx	xx	xx	x	xxx	o	xxx	xxxx	xx	Imhofit (1), Kupferkies (1), Proustit (3), Tetradrit (1), Wurtzit (1)

- nicht gefunden
o 1-2 Stück
x 3-10 Stück
xx 11-50 Stück
xxx 51-100 Stück
xxxx über 100 Stück

¹ 1959-1967: Gesteinsbildender «normaler» Arsenkies.
1968: Stengeliger Arsenkies in Klufthohlräumen.

² Verwachsung von Dufrénoysit mit einer oder zwei andern Mineralphasen, faseriger Jordanit oder faseriger Bleiglanz. Früher z. T. als «Sollyit» bezeichnet.

³ Etwas oberhalb der Grube gefunden.

nach den anfallenden Sulfosalzen vom Lengenbach aus. Seit 1958 verliessen über 50 wissenschaftliche Arbeiten dieses Institut (siehe Literaturverzeichnis).

Das gute Funktionieren der Arbeitsgemeinschaft Lengenbach war nur möglich dank der guten Zusammenarbeit unter seinen Partnern, vor allem aber dank dem Enthusiasmus von Jos. Imhof, dem Leiter aller Abbauarbeiten, und von Dr. S. Graeser, dem wissenschaftlichen Bearbeiter der Fundstelle.

Im Sommer 1965 erlitt Jos. Imhof bei den Arbeiten im Lengenbach eine schlimme Kopfverletzung. Nach seiner Wiederherstellung befahl ihn 1966 aber eine schleichende Krankheit, die ihm immer mehr zu schaffen machte und ihn im Herbst 1968 plötzlich aufs Krankenlager zwang. Im darauffolgenden Winter erholte sich Jos. Imhof zwar etwas; er half aktiv mit, die Lengenbacher Ausbeute von 1968 zu bestimmen und zu taxieren, ebenso war er bei der Mineralienteilung dabei. Darauf aber verschlimmerte sich seine Krankheit zusehends, und während der Drucklegung dieses Berichtes, am 16. Juni 1969, erlag er seinem Leiden.

Adresse des Verfassers: Dr. H. A. Stalder, Naturhistorisches Museum, Bernastrasse 15, CH-3000 Bern.

3. Die geologische Stellung der Mineralfundstelle Lengenbach

E. NIGGLI

Geologische Querprofile durch die schweizerisch-italienischen Alpen zeigen einen mehrfachen Wechsel von Zonen vorwiegend flacher Lagerung der Gesteine mit solchen, die durch ausgesprochene Steilstellung der Schichten gekennzeichnet sind. Die Mineralfundstelle Lengenbach und das ganze obere Binnatal liegen nun wenig nördlich oder zum Teil schon im Bereich des recht raschen Übergangs einer Steilzone (Gotthardmassiv und Stirn der penninischen Decken) in eine Zone flacher Lagerung (Mittelteil der penninischen Decken) (siehe dazu Profil Fig. 1).

Die Mineralfundstelle Lengenbach (Koord. 660, 150 / 135, 150, 1657 m ü. M.) befindet sich im weissen, triadischen Dolomit, der die hier noch steilgestellten Gneise der penninischen Monte-Leone-Decke umhüllt. Diese Gneise gehören zum alpin überprägten, metamorphosierten und deformierten prätriadischen Grundgebirge des penninischen Raumes. Nach Norden folgen auf die Trias penninische Bündnerschiefer, die aber einen zweiten Dolomitzug eingeschuppt oder eingefaltet enthalten, der u. a. bei Giessen im Binnatal aufgeschlossen ist. Die düster anwitternden und steil südfallenden Bündnerschiefer bauen den nördlichen Talhang des Binnatals zwischen Binn und Feld auf. Im Bereich der Fundstelle findet man Blöcke des dunkelgrünen, sogenannten Geisspfad-Serpentins, der am Geisspfad ansteht und der nach mündlicher Mitteilung von H. R. KEUSEN zum grössten Teil als alpinmetamorpher Antigorit-Olivin-Fels zu bezeichnen ist.

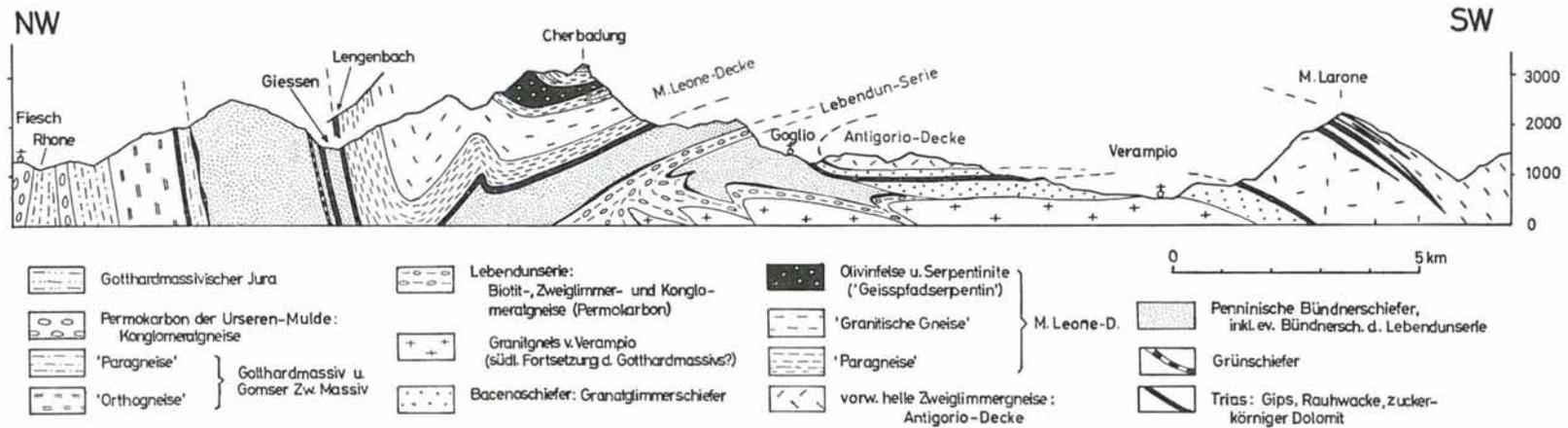
Die Aufrichtung der stirnwärtigen Partien der Monte-Leone-Decke muss in Zusammenhang mit der Heraushebung des Gotthard- und des Aarmassivs gebracht werden. Im Profil Fig. 1 ist übrigens für die tektonische Deutung der sogenannten Lebenduncke die Interpretation von M. G. JOOS (1967) übernommen worden, welcher die Lebendunserie als mächtige Rückfaltung einer

überwiegend konglomeratischen Serie deutet, deren ursprünglicher Sedimentationsraum an den voralpinen Südrand des Gott-hardmassivs anschloss.

Die Gesteine des Binnatals zeigen in Gefüge und im Mineralbestand sehr deutlich die Spuren alpiner, tertiärer Metamorphose. Nach E. NIGGLI und C. NIGGLI (1967) und H.-J. LÜTHY (1965) liegt die Lokalität Lengenbach an der Nordgrenze des Auftretens alpinen Stauroliths, der im Norden von Chloritoid abgelöst wird. Der Anorthitgehalt des Plagioklases aus der Paragenese Plagioklas mit Calcit \pm Glimmer liegt im Grenzbereich Oligoklas zu Andesin. Wir befinden uns also im Übergang der Epizone in die Mesozone, was einer Temperatur von rund 550° C entspricht. Altersbestimmungen mit der Rb-Sr-Methode (E. JÄGER et al. 1967) bestätigten die Existenz einer jungen Metamorphose. Biotite aus Gneisen und aus Bündnerschiefer ergaben Alterswerte um 13 Millionen Jahre. Nach der Interpretation der zitierten Arbeit handelt es sich hierbei nicht um das Alter der Bildung des Biotits, sondern um ein Abkühlalter nach der Metamorphose und nach der Mineralbildung, d.h. es bedeutet dieser Wert, dass das Gestein und der Biotit vor 13 Millionen Jahren bei der Heraushebung und Abkühlung des Gebirges eine Temperatur von etwa 300° C durchliefen. In der gleichen Arbeit wird (aus Rb-Sr-Daten an Hellglimmer) ein Minimalalter für die Metamorphose selbst von 28 Millionen Jahren (Oligozän) angegeben. Es stellt sich nun die sehr wichtige Frage, ob die Minerallagerstätte Lengenbach von dieser Metamorphose erfasst worden ist oder ob sie sich in ihrer heutigen Gestalt erst später bildete. H. BADER (1934) und andere glaubten, dass es gerade die alpine Metamorphose gewesen sei, die den besonderen Mineralinhalt der Fundstelle verursacht habe. Heute (S. GRAESER 1965, sowie spätere Kapitel der vorliegenden Schrift) neigt man mehr dazu, die letzte Mineralbildungsphase der Lagerstätte nach der Kulmination der alpinen Metamorphose anzusetzen und den besonderen Charakter der Lagerstätte anders zu erklären. So postuliert S. GRAESER (1965, S. 785), dass eine ursprünglich arsenarme, «normale», vielleicht syngenetische Pb-Zn-Lagerstätte im Triasdolomit später (gegen Ende der alpinen Metamorphose)

GEOLOGISCHES PROFIL FIESCH-GIESSEN-VERAMPPIO

Nach C. SCHMIDT u. PREISWERK (1905), H. BADER (1934), P. MEIER u. W. K. NABHOLZ (1949),
 W. OBERHOLZER (1955), S. GRAESER (1961), A. G. MILNES (1965, 1968), M. G. JOOS (1967).
 Gezeichnet von H. R. KEUSEN und J. D. KRAMERS, Februar 1969.



durch As-reiche Lösungen verändert wurde und ihren neuen Mineralbestand erhielt. Dass wohl zirkulierende Lösungen in der steilgestellten Frontpartie der penninischen Decken eine geologisch wichtige Rolle spielten, zeigen übrigens auch die Rb-Sr-Altersbestimmungen. So ergaben nach J. HUNZIKER und P. BEARTH (1969) Rb-Sr-Altersbestimmungen an Biotit des sogenannten Eistengneises (nördlichste Gneislamelle aus der Stirn der Monte-Leone-Decke im Simplonquerschnitt) aus der Reihe fallende, anomale Resultate, nämlich korrigierte Werte, die bis zum «unmöglichen» Wert von null Millionen Jahren hinuntergehen. Die beiden Autoren bemerken dazu, dass der Eistengneis tektonisch stark gestört und zerklüftet sei. Eine mögliche Erklärung für die anomalen Alterswerte sehen sie in der Hypothese, dass zirkulierende Lösungen in der senkrecht stehenden Eistengneis-Lamelle Rubidium umgelagert oder selektiv radiogenes Strontium gegen «gewöhnliches» Strontium innerhalb des Gesteins ausgetauscht haben.

Zum Schluss sei noch kurz die *Wanderung entlang dem Fahrweg von Binn zur Mineralfundstelle Lengenbach* geologisch-mineralogisch beschrieben, da sie einige interessante Beobachtungen erlaubt. Zwischen Punkt 1423 der Landeskarte und Giessen, beim Turtschi, stehen weisse bis graue Dolomite der Trias an. Diese Lokalität ist nach S. GRAESER (1965) neben dem Lengenbach wohl die interessanteste Mineralfundstelle in den Dolomitzügen des Binnatales. Der inmitten von Bündnerschiefern liegende Dolomit gehört nicht zum Lengenbacher Zug, der weiter südlich verläuft. S. GRAESER (1965, S. 633) fand im Turtschi mehrere Sulfide, darunter das neue Pb-Bi-Sulfid Giessenit, ferner Geokronit und Molybdänglanz 3R. Stellenweise tritt Plagioklas als gesteinsbildendes Mineral massenhaft in idiomorpher Gestalt im Dolomit auf. Am Westende des Aufschlusses steht ein wohl mesozoisches Konglomerat an, das u. a. Gerölle von recht massigem Granit führt. – Am Nordufer der Binna, nordöstlich Giessen (Fussweg über Brücklein!), können wir in einem kurzen Abstecher rund 150 m östlich des Brückleins einen Epidotamphibolit anschlagen, der zu den alpinen Ophiolithen zu stellen ist. Am Wege dahin fallen mit Calcit verkittete

Schotter auf. – Von Giessen zieht sich das Strässchen linksufrig eine Schotterterrasse hinan. Nach 10 Minuten kommt man zur Brücke, die hinüber zum Weiler Feld führt. Man bleibt jedoch südlich der Binna und verfolgt den Weg weiter hinauf bis zum nächsten Brücklein, das den Messerbach überquert. Hier finden sich Blöcke des sogenannten «Geisspfadserpentins» (= überwiegend ein Antigorit-Olivin-Fels). Nach einem letzten steilen Anstieg von 10 Minuten erreicht man den Steinbruch Lengenbach, dessen Deponie von weitem sichtbar ist.

LITERATUR

(SMPM = Schweiz. Min. Petr. Mitt.)

- BADER, H. (1934) – Beitrag zur Kenntnis der Gesteine und Minerallagerstätten des Binnentals. SMPM 14, 319–441.
- GRAESER, S. (1965) – Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnentales. SMPM 45, 597–795.
- HÜGI, TH., NIGGLI, E., NOWACKI, W. und STALDER, H. A. (1962): Bericht über die Exkursion der Schweiz. Mineralogischen und Petrographischen Gesellschaft über den Grimselpass und ins Binnental (Aarmassiv und penninische Decken). SMPM 42, 15–23.
- HUNZIKER, J. und BEARTH, P. (1969) – Rb-Sr Altersbestimmungen aus den Walliser Alpen. *Eclogae Geol. Helv.* 62, im Druck.
- JÄGER, E., NIGGLI, E. und WENK, E. (1967) – Rb-Sr Altersbestimmungen an Glimmern der Zentralalpen. *Beitr. Geol. K. Schweiz. N.F.* 134, Liefg.
- JOOS, M. G. (1967) – Über die Herkunft der Lebendunserie. *Eclogae Geol. Helv.* 60, S. 151–155.
- LÜTHY, H.-J. (1965) – Geologie der gotthardmassivischen Sedimentbedeckung und der penninischen Bündnerschiefer im Binnental, Rappental und Binntal (Oberwallis). *Diss. Univ. Bern.*
- NIGGLI, E. und NIGGLI, C. (1965) – Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen. *Eclogae Geol. Helv.* 58 S. 335–368.
- NIGGLI, E. (1967) – Exkursion Nr. 21, Brig–Gletsch–Furkapass–Andermatt–Oberalppass–Disentis. In: *Geologischer Führer der Schweiz*, S. 362–379, Wepf & Co., Basel.
- SCHMIDT, C. und PREISWERK, H. (1908) – Geologische Karte der Simplongruppe, 1:50000. Spezialkarte Nr. 48, mit Erläuterungen.

Adresse des Verfassers: Prof. E. Niggli, Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Bern, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

4. Der Dolomit vom Lengenbach und seine Vererzung

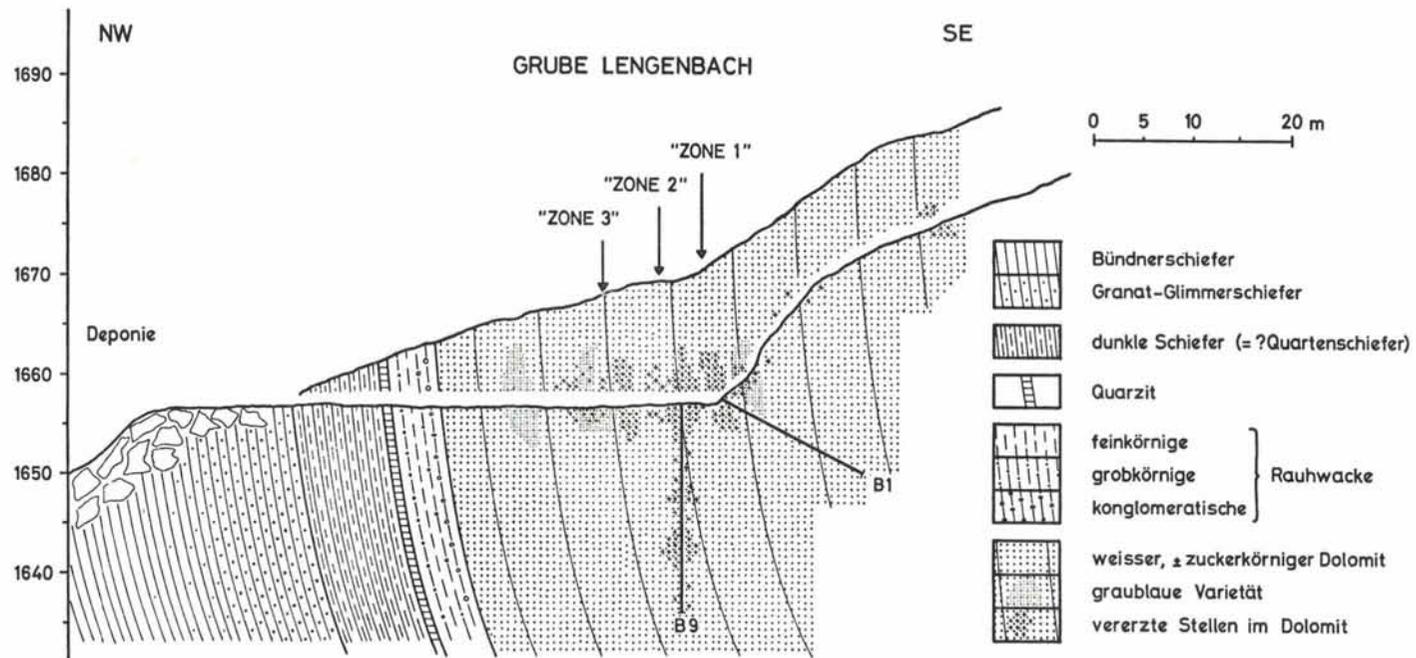
STEFAN GRAESER

Der Dolomit, der im Binnatal in mehreren, ungefähr SW-NE verlaufenden Zügen aufgeschlossen ist, bildet einen Teil des Sedimentmantels der Monte-Leone-Decke. Die im Lengenbach praktisch senkrecht stehenden Dolomitschichten zeigen an, dass die Fundstelle im Bereich der Stirnregion dieser Decke liegt. Da sich die Dolomitaufschlüsse im liegenden Schenkel der Monte-Leone-Decke befinden (der obere Teil der Decke ist bereits abgetragen worden), liegt eine sogenannte umgekehrte Schichtfolge vor: die älteren Gesteine liegen oben, die jüngeren unten. Im Bachbett des Lengenbaches, der die Gesteinsschichten ungefähr senkrecht zur Streichrichtung durchfliesst, bietet sich zur Zeit (besonders nach den ausgedehnten Freilegungsarbeiten im Sommer 1968) etwa folgendes Profil von Norden nach Süden dar (vgl. Profil):

N	gewöhnliche Bündnerschiefer, z. T. mit Granat granatführende Bündnerschiefer
etwa 9 m	dunkle Schiefer, mit Quarz, Pyrrhotin, Rutil usw. auf Klüften (wohl Quartenschiefer)
0,7 m	Glimmer-Quarzit
5,5-6 m	Rauhwanke in wechselnder Ausbildung: feinkörnig, grobkörnig, konglomeratisch
etwa 240 m	Dolomit, in wechselnder Ausbildung: weiss, zuckerkörnig, blaugrau gefärbt, z. T. marmorartig kompakt
S	Biotit-Gneis

Die dunklen (Quarten-)Schiefer sowie die Rauhwanke konnten erst 1968 gefunden werden, als sie bei Bauarbeiten (verbunden mit einer Tieferlegung des Bachbettes) freigelegt wurden.

Der Dolomit selbst besitzt am Lengenbach die ausserordentlich grosse Mächtigkeit von etwa 240 m. In Hinsicht auf Ausbildung und Färbung des Dolomites kommen mehrere verschiedene Varietäten vor. Der überwiegende Teil des Gesteines tritt in der bekannten zuckerkörnigen Ausbildung auf, daneben beobachtet man häufig auch marmorartig kompakte Partien des Dolomites. Der Grund für diese wesentlichen Unterschiede ist noch weitgehend unbekannt. Im Dünnschliffbild (unter dem Mikroskop) erkennt man folgende Unterschiede zwischen diesen beiden Dolomit- Varietäten:



Profil durch den Dolomit am Lengbach (etwas schematisiert). Anhand der einen Kernbohrung wird die Häufigkeitsänderung der Sulfosalzminerale in Abhängigkeit von der Tiefe angegeben.

- a) zuckerkörniger Dolomit: besteht im allgemeinen zu mindestens 95 % aus dem Mineral Dolomit, in rundlichen Körnern von einheitlicher Grösse (0,05–0,1 mm \varnothing), erscheint unter dem Mikroskop sehr homogen.
- b) Dolomitmarmor: kann bis über 40 % nichtkarbonatische Mineralien enthalten. Die Korngrösse dieses Dolomites schwankt zwischen 0,01 und > 1 mm. Das Gesamtbild des Dolomitmarmors ist demnach bedeutend inhomogener als beim zuckerkörnigen Dolomit, worauf auch der viel bessere Zusammenhalt des Dolomitmarmors beruht.

Bei diesem Vorgang haben zirkulierende Hydrothermal-Lösungen sicher eine grosse Rolle gespielt, da der zuckerkörnige Dolomit meistens auch am reichsten ist an Mineralien: aus den Lösungen kristallisierten einerseits die Mineralien aus, andererseits wurde durch die Lösungen der Zusammenhalt des Dolomites gelockert.

Der meistens reinweisse Dolomit tritt bisweilen auch in einer graublauen Varietät auf, die im allgemeinen unregelmässig begrenzt ist. Untersuchungen an dem Pigment, das den Dolomit verfärbt, ergaben, dass es sich dabei um Kohlenstoff handelt, der noch nicht vollständig in Graphit umgewandelt ist. Es ist anzunehmen, dass dieser Kohlenstoff aus Überresten organischen Materiales entstanden ist, das während der Sedimentation mitabgelagert wurde.

Die Vererzungen im Dolomit am Lengenbach

Die am stärksten vererzten Partien am Lengenbach liegen im untersten, also jüngsten Teil des Dolomites (nahe bei den Bündnerschiefern). Es sei jedoch betont, dass auch in den weiter südlich gelegenen Partien, bis zum Kontakt mit den Gneisen, sporadisch Erzminerale auftreten, wenn auch nie mehr in der Intensität wie im Gebiet der Grube. Wie anhand von Kernbohrungen festgestellt werden konnte, unterliegt der Gehalt an Erzminerale gegen die Tiefe zu grossen Schwankungen, doch treten auch in einer Tiefe von etwa 20 m (ab Grubensohle) noch Sulfosalzminerale auf (vgl. Profil). Bei der Untersuchung der Mineralien in den Bohrkernen wurde eine Abnahme des Arsengehaltes mit zunehmender Tiefe

konstatiert, sehr ähnlich den Änderungen, wie sie an der Oberfläche von Süden nach Norden festgestellt wurden (vgl. weiter unten: Geochemie und Genese). Es könnte nun sein, dass man in dem Bohrloch gegen die Tiefe zu (infolge Umbiegens der Dolomitschichten) wieder in dieselben Zonen kommt, die an der Oberfläche weiter nördlich liegen – und wo sie ebenfalls As-ärmer sind.

Mit wenigen Ausnahmen kommen sämtliche Mineralien in Hohlräumen des Dolomites vor und nicht gesteinsbildend. Die Hohlräume (sogenannte Drusen) sind nicht durch Bewegungen im Gestein entstanden (es sind keine Zerrklüfte), sondern durch zirkulierende Hydrothermalwässer, die den Dolomit teilweise gelöst haben. Eigentliche Zerrklüfte treten auch vereinzelt auf, sie sind jedoch meistens mineralarm bis -leer. Teilweise gesteinsbildend werden folgende Mineralien gefunden: Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Arsenkies. Es sei noch erwähnt, dass sich gesteinsbildender Arsenkies strukturell, morphologisch und sehr wahrscheinlich auch chemisch unterscheidet von Drusen-Arsenkies.

Die Fundstelle Lengenbach stellt mit ihren vielen seltenen und z. T. einzigartigen Mineralien einen Sonderfall in der Mineralogie dar. Um so erstaunlicher ist es, dass in Kanada (in Madoc, Ontario) eine Mineralfundstelle existiert, die ausserordentliche Ähnlichkeiten mit dem Lengenbach aufweist. Die Fundstelle wurde von JAMBOR (1967a, b, 1968) in mehreren umfassenden Arbeiten eingehend studiert. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Fundstellen liegt allerdings vor: während im Lengenbach das Arsen von überragender Bedeutung ist, tritt in Madoc das Element Antimon an die Stelle von Arsen; die dort vorkommenden Mineralien sind vorwiegend Sb-Sulfosalze. Bezeichnenderweise konnte in Madoc eine ganze Anzahl von Sulfosalzmineralien neu entdeckt werden, die das Sb-Analogon zu Lengenbacher Mineralien darstellen (z. B. Sb-Dufrénoysit = Veenit, Sb-Skleroklas = Twinnit). Ungeachtet der Tatsache, dass die Mineralien der beiden Fundstellen nahe verwandt sind, scheinen die Entstehungsbedingungen verschieden gewesen zu sein (vgl. JAMBOR 1968, S. 52).

Adresse des Verfassers: Dr. Stefan Graeser, Naturhistorisches Museum, Augustiner-
gasse, CH-4000 Basel.

5. Kurze Beschreibung der wichtigsten Lengenbacher Mineralien

STEFAN GRAESER

Damit sich auch der Laie ein ungefähres Bild von den z. T. so seltenen Mineralien machen kann, sei hier eine kurze Charakterisierung (chemische Zusammensetzung, Kristallform, einige physikalische Eigenschaften, morphologische Besonderheiten, Unterscheidungsmerkmale usw.) angeführt. Bei den Sulfid- und Sulfosalzmineralien wird – soweit möglich – neben der Mohsschen Härte auch die genauere Vickershärte notiert, da sonst vielfach gar keine Unterschiede angegeben werden könnten. Bei Mineralien, die nur im Lengenbach vorkommen, oder die zuerst hier gefunden wurden, wird der Name des Bearbeiters sowie das Jahr der Veröffentlichung angegeben. Die Reihenfolge der Mineralbeschreibungen innerhalb der Gruppen Sulfide–Sulfosalze–Karbonate–Phosphate–Silikate erfolgt alphabetisch.

Folgende Abkürzungen werden verwendet:

F = Farbe	SP = Spaltbarkeit
S = Strichfarbe	Z = Zwillingsbildung
H = Härte	SG = spezifisches Gewicht
VH = Vickershärte	M = morphologische Eigenschaften
V = Vorkommen im Lengenbach	Unterscheidungsmerkmale usw.

I. SULFIDE

AURIPIGMENT As_2S_3 monoklin (pseudoorthorhombisch)

- F = durchscheinend zitronengelb
- S = hellgelb
- H = $1\frac{1}{2}$ –2, schneidbar, biegsam
- SP = sehr vollkommen nach (010)
- M = praktisch nie in Kristallen. Gut erkennbar an verborgenen und aufgeblätterten Individuen. Entsteht nicht aus Realgar (wie immer noch behauptet wird!)
- V = kommt meistens zusammen mit Realgar im südlichen Teil der Grube vor

BLEIGLANZ PbS kubisch

- F = bleigrau, manchmal hell glänzend
- S = grauschwarz
- H = $2\frac{1}{2}$ VH = etwa 70
- SP = sehr vollkommen nach (100), seltener nach (111) bei oktaedrisch ausgebildeten Kristallen
- M = im Lengenbach meist als Kubooktaeder, bei denen häufig das Oktaeder überwiegt. Kann sehr ähnlich sein wie Jordanit, besitzt aber keine Zwillingslamellierung
- V = kommt praktisch nur beim nördlichen Grubeneingang vor, häufig zusammen mit Jordanit

KUPFERKIES CuFeS₂ tetragonal

- F = goldgelb bis messinggelb
- H = $3\frac{1}{2}$ -4
- V = sehr selten, ganz weit nördlich, ein Exemplar zusammen mit (?) Tetraedrit gefunden, aus dem er wohl entstanden ist

MARKASIT FeS₂ orthorhombisch

- F = grünlich-gelb, mit rötlichen Anlauffarben
- M = radialstrahlige Aggregate
- V = nur ein einziges Exemplar gefunden, zusammen mit Jordanit

MOLYBDÄNIT-3R MoS₂ rhomboedrisch (GRAESER 1964)

- F = silbrig-hell, glänzend
- H = $1-1\frac{1}{2}$ VH = 21
- SP = vollkommen nach (0001)
- M = sehr gut ausgebildet zu sechseckigen Blättchen, die häufig verbogen sind
- V = südlich der eigentlichen Grube Lengenbach, oberhalb des Wasserfalles

PYRIT FeS₂ kubisch

- F = messinggelb, häufig mit Anlauffarben überzogen
- S = grünlich-schwarz
- H = $6-6\frac{1}{2}$ VH = etwa 1100
- M = stark variierend je nach Begleitminerale
- V = häufigstes Erzmineral im Lengenbach

REALGAR As₄S₄ monoklin

- F = leuchtend rot (in frischem Zustand)
- S = orange
- H = $1\frac{1}{2}$ VH = 55
- M = säulige Kristalle häufig, gut ausgebildet. Wandelt sich unter Lichteinfluss in ein gelbes Pulver derselben chemischen Zusammensetzung um (nicht etwa in Auripigment)
- V = sehr häufig im südlichsten Teil der Grube

WURTZIT ZnS hexagonal

F = rötlich-braun

H = $3\frac{1}{2}$ -4

SP = nach der Basis

M = winzige hexagonale Täfelchen, gut ausgebildet

V = sehr selten, gegen nördlichen Grubeneingang zu

ZINKBLENDE ZnS kubisch

F = hellgelb bis dunkelbraun (infolge Mn-Gehalt!)

H = $3\frac{1}{2}$ -4 VH = 168

SP = vollkommen nach (110)

Z = fast stets verzwilligt, häufig polysynthetisch

M = vorwiegend in Tetraedern, seltener in anderen Formen. Meistens sehr gut ausgebildet. Manchmal sind die Kanten stark gerundet, so dass annähernd kugelige Kristalle entstehen

II. SULFOSALZE

ARSENKIES FeAsS monoklin

F = messinggelb bis weissgelb

S = grauschwarz

H = $5\frac{1}{2}$ -6 VH = 970

SG = 5,99

M = zwei verschiedene Typen: gesteinsbildender Arsenkies ist kurzstengelig, flach; als Drusenmineral ist er langstengelig und dünn

V = gesteinsbildend nur im südlichsten Teil der Grube, als Drusenmineral sehr häufig in «Zone 2»

BAUMHAUERIT $Pb_{11}As_{17}S_{36}$ triklin (SOLLY 1902)

F = bleigrau bis stahlgrau

S = schokoladebraun

H = 3 VH = 180

SP = ± deutlich nach (100)

Z = polysynthetisch, häufig schon von blossem Auge als feine enge Schraffur auf dem Kristall sichtbar

M = meist deutlich gestreckt nach der b-Achse. Weist sehr oft eine charakteristische Abrundung der Kanten auf

V = hauptsächlich in der südlichen Hälfte der Grube

BINNIT siehe Tennantit

DUFRENOYSIT $Pb_8As_8S_{20}$ monoklin (DAMOUR 1845)

F = deutlich bleigrau, häufig angelaufen und matt

S = schokoladebraun

H = 3 VH = 150

Z = polysynthetisch, manchmal von blossem Auge sichtbar

Links von oben nach unten:

1 Jordanit-Kristall mit Anlauffarben

Die Hauptfläche wird (auf dem Bilde z. T. schwach sichtbar, von rechts unten nach links oben) von den Spuren polysynthetischer Zwillingslamellen durchzogen. Ausbeute 1968 (Nr. L 5722/A 5394). Vergrößerung 5 × Photo H. A. Stalder.

2 Realgar-Kristall

Die Streifung nach der Vertikalachse ist auf dem Bilde gut sichtbar. Ausbeute 1964 (Nr. L 3059/A 3392). Vergrößerung 3 ×. Photo H. A. Stalder.

3 Baumhauerit-Kristalle

Die beiden Kristalle sind nach der Hauptachse leicht gestreift. Sie zeigen sehr deutlich die für Baumhauerit charakteristische «Abrundung» aller Kristallkanten. Ausbeute 1966 (Nr. L 4995/A 4244). Vergrößerung 6,5 ×. Photo H. A. Stalder.

4 Zinkblende-Kristall

Der honiggelb-durchsichtige Kristall wird durch Flächen des positiven und negativen Tetraeders und des Würfels (auf dem Bild von oben nach unten verlaufende, vorderste Fläche) begrenzt. Die beiden Tetraeder weisen eine sehr unterschiedliche Flächenentwicklung auf (links und rechts der Würfelfläche einerseits; oben und unten der Würfelfläche andererseits). Ausbeute 1959 (Nr. L 817/A 1286). Vergrößerung 7 ×. Photo S. Graeser.

Rechts von oben nach unten:

5 Auripigment

Auf dem Bild ist die auffällige blätterige Spaltbarkeit, wie sie für Auripigment typisch ist, gut zu erkennen. Die einzelnen Spaltblättchen sind z. T. aufgebogen, da das Mineral biegsam ist. Wirklich gute Einzelkristalle von Auripigment sind im Lengenbach noch nicht gefunden worden. Ausbeute 1962 (Nr. L 1911). Vergrößerung ca. 7 ×. Photo S. Graeser.

6 Binnit-Kristall, z. T. überkrustet von kleinen Pyrit-Kriställchen

Obwohl die Identität von Binnit mit dem Arsen-Fahlerz Tennantit längst bekannt ist, wird der Name Binnit für diese äusserst flächenreichen, kugeligen Kristalle aus dem Lengenbach noch beibehalten. Ausbeute 1959 (Nr. L 1065/A 1314). Vergrößerung 10 ×. Photo S. Graeser.

7 Lorandit-Kristall

Lorandit in pseudo-bipyramidaler Ausbildung. Obwohl das Mineral in seinen chemischen und kristallographischen Eigenschaften identisch ist mit Lorandit von den zwei bisher bekannten Fundstellen, ist der Lengenbacher Lorandit in seiner Ausbildung völlig verschieden von den Kristallen der beiden anderen Vorkommen. Ausbeute 1966 (von Nr. L 4175). 38 ×. Photo S. Graeser.

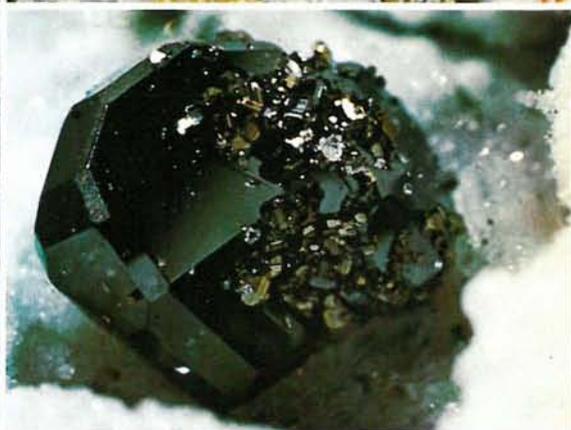
8 Lengenbachit-Kristall

Der span-artig verbogene Hauptkristall zeigt eine schöne blaue Anlauffarbe. An der Spitze des Minerals sind kleine Pyrit-Kristalle aufgewachsen. Ausbeute 1963 (Nr. L 2399/A 3028). Vergrößerung 5,5 ×. Photo S. Graeser.

9 Fuchsit in zuckerkörnigem Dolomit

Der Chromglimmer Fuchsit ist eines der wenigen gesteinsbildenden Mineralien, die im Lengenbach gesammelt werden. Alle anderen oben abgebildeten Mineralien stammen aus Hohlräumen (Drusen) im Dolomit. Ausbeute 1966 (Nr. L 4876/A 4235). Vergrößerung 1,6 ×. Photo H. A. Stalder.

Alle Mineralien mit einer A-Nummer sind Bestandteil der mineralogischen Sammlung des Naturhistorischen Museums Bern.



SG = 5,60

M = \pm stark gestreckt nach der a-Achse, häufig fast isometrisch. Charakteristische Rundung in der Zone der a-Achse. Dufrénoysit ist sehr schwierig zu identifizieren!

V = vorwiegend in den nördlichen Partien des Lengenbachs

FASRIGES SULFOSALZ («SOLLYIT») (SOLLY 1919; GAGARIN und CUOMO 1949)

Unter dem Namen «Sollyit», der heute nur noch als Bezeichnung für eine bestimmte Ausbildungsart mehrerer verschiedener Mineralien verwendet werden kann, verstand man früher ein Mineral, das sich aber bei neueren röntgenographischen Untersuchungen als inhomogen erwies (Verwachsung von Dufrénoysit mit einer oder zwei verschiedenen Mineralphasen); im Pulverdiagramm ist dieses «Mineral» nicht zu unterscheiden von gewöhnlichem Dufrénoysit. In derselben Ausbildungsart können auch Jordanit und Bleiglanz gefunden werden.

HATCHIT $Pb_3Tl_3Ag_2Cu_7As_6S_{15}$ triklin (SOLLY und SMITH 1912)

F = schwarzgrau, im durchfallenden Licht dunkelrot durchscheinend

S = schokoladebraun

M = winzige Kristalle (meist unter 1 mm) von deutlich trikliner Ausbildung. Eines der seltensten Mineralien des Lengenbachs

HUTCHINSONIT $(Pb, Tl)_2As_5S_9$ orthorhombisch (SOLLY 1905)

F = dunkelweinrot bis schwarz, auch die schwarzen Kristalle sind an den Kanten rot durchscheinend

S = rot

H = nach Literatur $1\frac{1}{2}$ -2 (zu niedrig) VH = 170 (entspricht etwa H = 3)

SG = 4,6-4,7

M = meist deutlich nach der c-Achse gestreckt, manchmal als winzige radialstrahlige Aggregate ausgebildet

V = vorwiegend in «Zone 1», im südlichen Teil der Grube

IMHOFIT $Tl_6Cu_1As_{15}S_{40}$ monoklin (BURRI et al. 1965)

F = kupferrot

H = - VH = 38

M = dünnblättrig, meist zu kugeligen Aggregaten verwachsen, die aber kaum 1 mm Durchmesser überschreiten.

V = «Zone 1» im Süden der Grube

JORDANIT $Pb_{27}As_{14}S_{48}$ monoklin (v. RATH 1864)

F = bleigrau, häufig bunt angelaufen

S = grauschwarz

H = 3 VH = 167

Z = polysynthetisch, meist von Auge erkennbar, wichtiges Unterscheidungsmerkmal gegenüber dem oft sehr ähnlichen Bleiglanz!

SG = 6,4

M = häufig in pseudohexagonalen sechseckigen Kristallen, seltener prismatisch, bipyramidal oder fasrig ausgebildet

V = vorwiegend in den nördlichen Partien des Lengenbachs

LENGENBACHIT $Pb_{3,4}Ag_{1,1}Cu_5As_{2,4}S_{7,8}$ monoklin (SOLLY 1904)

F = bleigrau, manchmal blau angelauten

S = schwarz bis braun

H = - VH = 35

SG = 5,8

M = blätterige, häufig hobelspanartig aufgerollte Kristalle, biegsam

V = in den nördlicheren Partien des Lengenbachs

LORANDIT $TlAsS_2$ monoklin

F = dunkelrot bis schwarz

S = kirschrot

H = 2 VH = 39

SG = 5,53

M = spitz-bipyramidale Kriställchen, meist kleiner als 1 mm

V = nur in «Zone 1»

MARRIT $PbAgAsS_3$ monoklin (SOLLY 1905)

F = bleigrau bis schwarzgrau, Oberfläche oft rauh

S = schwarzbraun

H = 3 VH = 168

M = isometrisch bis kugelig, sehr ähnlich wie Binnit (Tennantit)

NOWACKIIT $Cu_6Zn_3As_4S_{12}$ rhomboedrisch (MARUMO und BURRI 1965)

F = bleigrau bis schwarz

M = isometrische, pseudotetraedrisch ausgebildete Kriställchen (kleiner 0,3 mm) auf Zinkblende aufgewachsen

PROUSTIT Ag_3AsS_3 trigonal

F = zinnober- bis dunkelrot

S = zinnoberrot

H = 2½

M = kurz-prismatisch, im Lengenbach meist schlecht ausgebildet

RATHIT I $(Pb, Tl)_9As_{15}S_{30}$ monoklin (BAUMHAUER 1896)

F = schwarz bis silbergrau, hochglänzend

H = 3 VH = 161

Z = polysynthetisch, schief zur Stengelachse, häufig von Auge erkennbar

M = prismatische Kristalle, häufig in der Prismenzone abgerundet

V = nur im südlichen Teil des Lengenbachs

RATHIT II $Pb_9As_{13}S_{28}$ monoklin (BERRY 1953)

F = bleigrau bis schwarzgrau, meist glanzlos, matt

H = 3 VH = 178

Z = Zwillinglamellen im allgemeinen nur im Mikroskop erkennbar

M = ausgesprochenen langstengelig, tiefe Rillen parallel der Längsachse

SELIGMANNIT PbCuAsS_3 orthorhombisch (BAUMHAUER 1901)

- F = schwarz glänzend bis stahlgrau
- S = schokoladebraun
- H = $2\frac{1}{2}$ -3 VH = 162
- Z = nach (110), häufiger unverzwilligt
- SG = 5,4-5,5
- M = langstengelig nach der c-Achse, meist sehr gut ausgebildet aber selten grösser als 1-2 mm. Häufig auf anderen Sulfosalzen aufgewachsen
- V = «Durchläufer», vorwiegend aber «Zone 2 und 3»

SINNERIT $\text{Cu}_{1,4}\text{As}_{0,9}\text{S}_{2,0}$ triklin (MARUMO und NOWACKI 1964)

- F = silbergrau bis stahlgrau
- H = - VH = 373
- M = flachstengelig, häufig zu fächerartigen Aggregaten miteinander verwachsen

SKLEROKLAS (= *SARTORIT*) PbAs_2S_4 monoklin (v. RATH 1864)

- F = stahlgrau, meist hochglänzend
- S = schokoladebraun
- H = 3 VH = 196
- SP = deutlich nach (100)
- SG = 5,05
- M = flachstengelig, gestreckt nach der b-Achse
- V = fast ausschliesslich in Zone 1

SMITHIT AgAsS_2 monoklin (SOLLY 1905)

- F = zinnoberrot bis dunkelrot
- S = zinnoberrot
- H = $1\frac{1}{2}$ -2
- SP = glimmerartig vollkommen nach (100) – wichtiges Kennzeichen!
- M = meist schlecht ausgebildet, charakteristisch ist aber die immer gut erkennbare Spaltbarkeit nach der Basis
- V = vorwiegend «Zone 1»

TENNANTIT (= *BINNIT*) $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ kubisch

- F = schwarz, hochglänzend, manchmal in Splittern rot durchscheinend (infolge Zn-Gehalts)
- S = schwarz bis braunrot (Zn-Gehalt)
- H = $4-4\frac{1}{2}$ VH = etwa 400
- M = typisch für Lengenbach sind ausgesprochen kugelige Kristalle (= Binnit), sehr flächenreich
- V = ausgesprochener «Durchläufer» ohne bevorzugte Fundpunkte

TETRAEDRIT $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{>2}\text{As}_{<2}\text{S}_{13}$ kubisch

- F, S, H, VH = siehe Tennantit
- SG = 4,9-5
- M = deutlich tetraedrisch (Tetraeder, Tristetraeder) ausgebildet. Nur der praktisch Sb-freie Tennantit besitzt kugelige Form
- V = fragliches Vorkommen ganz im Norden der Grube Lengenbach

TRECHMANNIT AgAsS_2 rhomboedrisch (SOLLY 1905)

F = zinnoberrot bis dunkelrot

S = zinnoberrot

H = $1\frac{1}{2}$ -2

M = selten gut ausgebildet, manchmal Rhomboeder erkennbar

V = vorwiegend in «Zone 1»

WALLISIT $\text{Pb}_3\text{Tl}_3\text{Cu}_3\text{As}_6\text{S}_{15}$ triklin (NOWACKI 1965)

F = silbergrau bis schwarzgrau, metallisch glänzend

SP = gut nach (001)

M = aufgewachsen auf anderen Sulfosalzen, gewisse Ähnlichkeiten mit Hatchit, mit dem enge chemische Verwandtschaft besteht

XANTHOKON Ag_3AsS_3 monoklin

F = bräunlich-rot

M = winzige Kriställchen zusammen mit dem trigonalen Ag_3AsS_3 -Polymorph Proustit auf anderem Sulfosalz. Grösse der Xanthokon-Kristalle unter 0,1 mm

II. OXYDE

QUARZ SiO_2

Quarz ist im Lengenbach nicht sehr häufig und dürfte wohl die Länge von 4-5 cm selten übertreffen. Die Kristalle sind jedoch meist sehr eigenartig ausgebildet: sie besitzen im allgemeinen die als «Tessiner Habitus» bezeichnete zugespitzte Form und haben eine rauhe Oberfläche. Häufig sind Sulfosalz-Einschlüsse in Quarz zu beobachten (Dufrénoysit). Von speziellem Interesse sind sodann primäre Einschlüsse, die bis zu 5 verschiedene Phasen enthalten können: wässrige Lösung, flüssiges CO_2 , Gasphase, Salzkristall und elementaren Schwefel.

RUTIL TiO_2

Rutil kommt im Lengenbach ziemlich häufig vor, aber ebenfalls meist nur in kleinen Kristallen. Das Mineral zeigt recht interessante Änderungen in der Ausbildung je nach der Art der mit ihm vergesellschafteten Mineralien: in Assoziation mit Sulfosalzmineralien finden wir bipyramidal bis kurzprismatisch ausgebildete Kristalle, wo keine Sulfosalze vorkommen, besitzt das Mineral den üblichen langstengeligen bis nadeligen Habitus.

III. KARBONATE

CALCIT CaCO_3

Calcit tritt im Lengenbach sehr häufig auf. Er ist stets skalenödrisch ausgebildet und gelblich gefärbt, womit er leicht von Dolomitkristallen zu unterscheiden ist.

DOLOMIT $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Dolomitkristalle finden sich praktisch in jeder Druse des Lengenbaches. Man findet das Mineral in farblos-durchsichtigen bis milchigen Rhomboedern bis zu 3-4 cm Durchmesser.

IV. SULFATE, MOLYBDATE

BARYT BaSO₄

Das Mineral Baryt tritt im Lengenbach in einer ganzen Anzahl verschiedener Form- und Farbvarietäten auf:

- a) nach (001) tafelige, zonargefärbte Kristalle. Der Kern ist meist dunkelgelb, der Aussenrand weissgelb gefärbt;
- b) isometrische farblose Kristalle, die glasklar durchsichtig sind. Sehen ähnlich aus wie Fluorit;
- c) stengelige Kristalle von lichtblauer Farbe;
- d) kurzprismatische Kristalle, gestreckt nach der c-Achse. Farbe gelb bis grünlich-gelb.

WULFENIT PbMoO₄ tetragonal

Wurde vereinzelt in kleinen bipyramidalen Kristallen von dunkelbrauner Farbe auf Bleiglanz aufgewachsen gefunden.

V. PHOSPHATE

HAMLINIT (= *BOWMANIT*) SrAl₃H [(OH)₆(PO₄)₂] trigonal (SOLLY 1905)

Das Mineral wurde von SOLLY zunächst als Bowmanit für eine neue Species gehalten, später aber als Hamlinite identifiziert.

Kommt in sechseckigen, hellbraunen Täfelchen bis zu 2 mm Ø vor, seltener in farblos-durchsichtigen pseudooktaedrischen Kriställchen von etwa 1 mm Grösse.

VI. SILIKATE

FUCHSIT (Chrom-Muskowit, mit Cr₂O₃ bis 6%)

Hellgrün bis dunkelgrün gefärbter Glimmer, der ausschliesslich gesteinsbildend als Schlieren im Dolomit auftritt.

OELLACHERIT (Barium-Muskowit, mit BaO-Gehalt bis zu 10%)

Im Gegensatz zu Fuchsit tritt dieser schwach grün gefärbte Glimmer meist gut ausgebildet in Drusen des Dolomits auf.

SKAPOLITH (Ca-Na-Al-Silikat) tetragonal

Skapolith findet man im Lengenbach relativ häufig, aber nur noch in stark verwittertem Zustand. Er tritt auf in langstengeligen Kristallen mit quadratischem Querschnitt, die durch Umwandlung in Glimmer milchigweiss getrübt sind.

TURMALIN

Turmalin ist im Lengenbach recht häufig und immer gut ausgebildet, obwohl er vorwiegend gesteinsbildend auftritt. Es kommen mehrere verschiedene Farbvarietäten vor: Übergänge von hellgrün zu olivgrün sowie dunkelbraun. Die helleren Varietäten finden sich vorwiegend im südlichen Teil des Lengenbachs («Zone 1 und 2»), die dunkelbraune Art tritt hauptsächlich in «Zone 3» auf.

Adresse des Verfassers: Dr. Stefan Graeser; Naturhistorisches Museum, Augustiner-gasse, CH-4000 Basel.

6. *Hyalophan vom Lengenbach*

JOSEF ARNOTH

An Feldspäten findet man in der Grube Lengenbach neben Plagioklas hauptsächlich Glieder der Hyalophan-Reihe. Hyalophan wurde von SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN (1855 a, 1855 b) anhand von Material aus diesem Fundpunkt als Barium-Schwefel-Mineral beschrieben. Lengenbach ist also die Typlokalität für Hyalophan. Adular wurde von LARDY (1833) zum erstenmal von dieser Fundstelle erwähnt.

Die älteren Untersuchungen über das «Mineral» Hyalophan vom Lengenbach sind im Handbuch der Mineralogie Bd. II von HINTZE (1897) zusammengefasst. Ergänzend sei jedoch beigefügt, dass der Befund von KENNGOTT (1859) – nach dem der Hyalophan ein Kalium-Barium-Feldspat ist – durch die Analyse von PETERSEN (1866) bestätigt worden ist. GROTH (1878) erwähnt einen Hyalophan-Zwilling nach dem Baveno-Gesetz, SOLLY (1901, 1904) auch solche nach dem Karlsbad-Gesetz. BAUMHAUER (1903) fand, dass Baveno-Zwillinge dem Adular näher stehen als dem eigentlichen Hyalophan. Es scheint, dass das Kalifeldspat-Endglied, welches Neigung zu Lamellenbau aufweist, in der Regel nach dem Baveno-Gesetz, der monokline Hyalophan hingegen nach dem X- oder Karlsbad-Gesetz verzwillingt ist. Es sei noch auf die Arbeit von HADDING (1921) sowie auf die Publikationen von GAY und ROY (alle zitiert in GAY and ROY 1968) hingewiesen, welche sich mit zwei Proben vom Lengenbach (B. M. 31990 und B. M. 84765) befassen.

Die Feldspäte der Fundstelle Lengenbach treten sowohl als Porphyroblasten im kompakten Dolomitmarmor als auch als Kluft- und Drusenminerale im zuckerkörnigen Dolomit auf. Für optische und kristallographische Studien eignen sich die Drusen- und Kluft-Feldspäte besser als die Porphyroblasten. Der Celsian-Gehalt der Reihe variiert von 0 bis 42 Mol. % Celsian (Cn), er ist nur in seltenen Fällen homogen im Kristall verteilt (vgl. GRAESER 1965, S. 624). Die Adulare sind monoklin mit oder ohne Lamellen-

bau oder triklin mit Lamellenbau. Die Hyalophane (negative Auslöschung in (010)) sind in der Regel monoklin. Hyalophane, welche die für Lengenbach maximalen Cn-Gehalte (40–42 % und selten etwas grösser) aufweisen, haben in der Regel trikline Optik. Sie stellen vielleicht die Übergangsglieder zwischen monoklinem Hyalophan mit Achsenebene parallel $[010]$ sowie negativem optischen Charakter und monoklinem Celsian mit Achsenebene senkrecht $[010]$ und positivem optischen Charakter dar. Auf triklinem Keim mit hohem Cn-Gehalt wachsen die Zonen niedrigerer Cn-Gehalte – nicht selten bis zu reinem Kalifeldspat – triklin weiter.

Die lokale Umwandlung von Hyalophan in Kalifeldspat und Baryt ist eine verbreitete Erscheinung. Ein repräsentatives Korn¹ haben wir als Beispiel gewählt, um die optischen und chemischen Eigenschaften der Hyalophane vom Lengenbach darzustellen (Fig. 1). Die Ba-Analyse erfolgte mit der Mikrosonde jeweils im μ -Bereich, die optische Messung hingegen mit dem U-Tisch im mm-Bereich. Die mögliche Streuung der optischen und chemischen Daten ist in Fig. 2 durch die Länge der ausgezogenen Striche angedeutet. Aus dem Diagramm Fig. 2 (und indirekt aus Fig. 3) ist ersichtlich, dass zwischen Cn₀₋₁₂ zwei Kurven konstruiert werden können, von denen die eine von Cn₁₀₋₁₂ in Richtung des monoklinen, die andere in Richtung des strukturell triklinen Kalifeldspat-Endglieders zieht. In Fig. 3 sind die kristallographischen Verhältnisse in stereographischer Projektion dargestellt. Die Projektionspunkte der optischen Achsen bilden drei Gruppen, welche einerseits zum Grund- bzw. Vizinalindividuum (in Fig. 3, Gruppen 1 und 3), andererseits zu Bereichen mit Lamellenbau (Gruppe 2) gehören.

Die Schar der optischen Achsen der ersten Gruppe wurde im monoklinen Bereich von Hyalophan-Kalifeldspat (ohne Lamellenbau) gemessen. Er ist sekundär nicht verändert (Grundindivi-

¹ Loser Drusenfeldspat JA65/2, gefunden 1964 auf der Schutthalde der Grube Lengenbach, 1 cm gross, mit kurzprismatischem Habitus und mit den Formen $\{110\}$, $\{001\}$ und $\{\bar{1}01\}$. Alle Flächen sind vergrößert (vgl. HONIGMANN 1958), besonders das Prisma weist starke Oberflächenstörungen auf.

duum). Die optischen Achsen liegen angenähert auf einem Grosskreis, welcher mit (010) einen Winkel von etwa 54° bildet. Die Projektionsebene von Fig. 3 ist senkrecht [001] des Grundindividuum. Die optischen Daten im Hyalophan-Bereich lassen auf ein ungestörtes Wachstum unter kontinuierlicher Ba-Abnahme schliessen. Die optische Achse im Orthoklas-Bereich (22) liegt auf

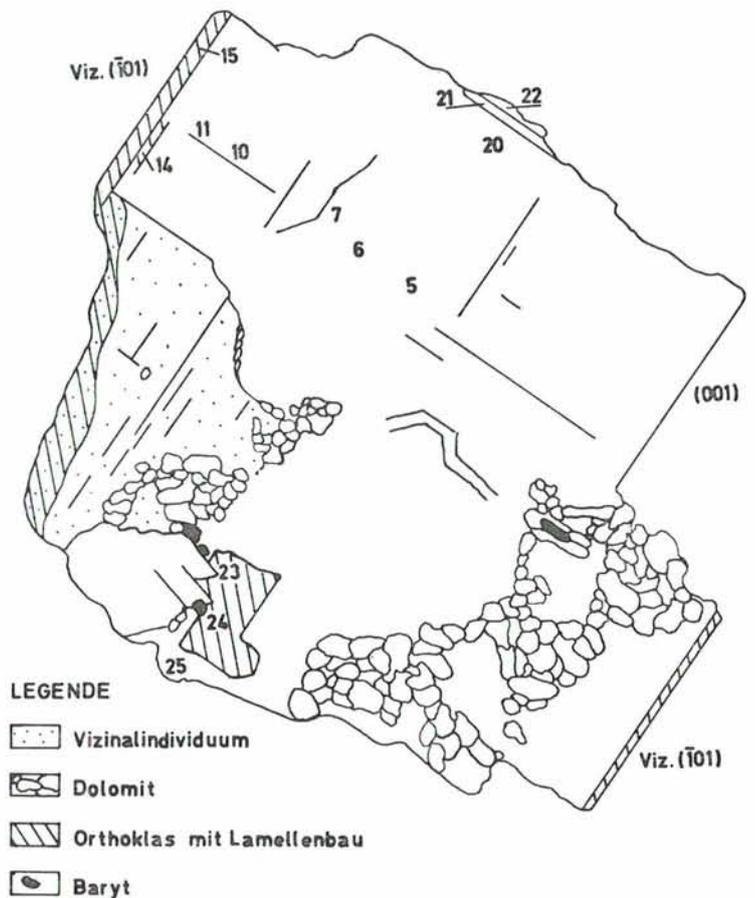


Fig. 1. Schnitt parallel [010]. Die Zahlen geben die Lage der auf Fig. 2 dargestellten Messresultate an.

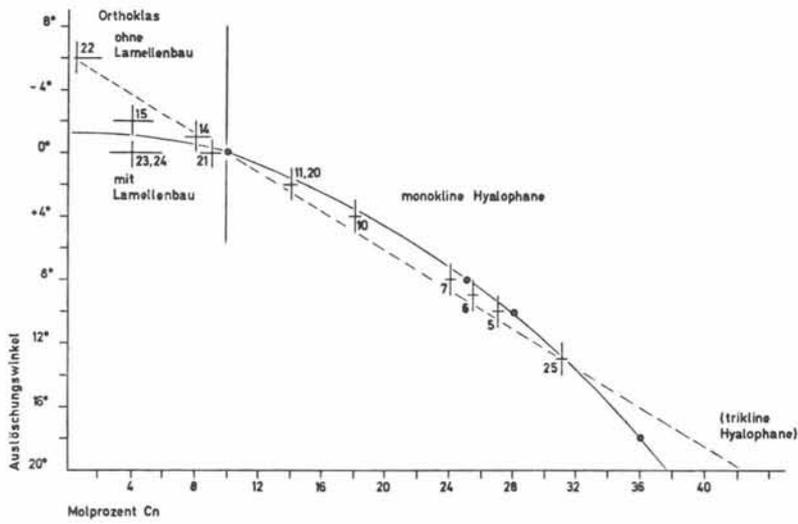


Fig. 2. Auslöschungswinkel $[n\alpha] \Delta [100]$ in (010) , in Abhängigkeit vom Cn -Gehalt. ● Daten entnommen von ROY (1965)

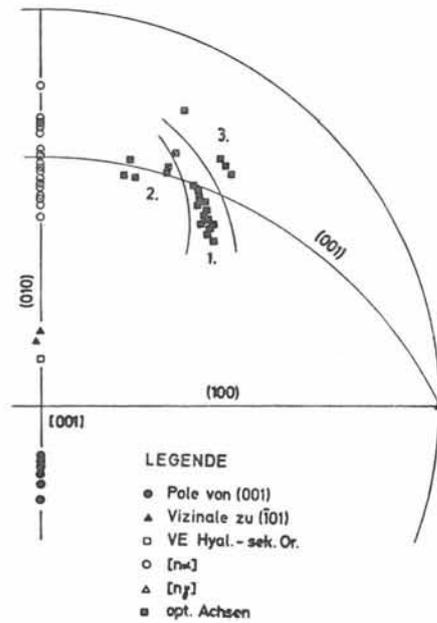


Fig. 3. Stereographische Projektion senkrecht $[001]$ des Grundindividuums, in welchem die optischen Achsen der Gruppe 1 gemessen wurden.

demselben Grosskreis, obwohl der Randbereich (20, 21, 22) durch sprunghafte Änderung in Chemismus und Optik gekennzeichnet ist.

Die optischen Achsen der zweiten Gruppe liegen angenähert in (001) des Grundindividuum. Sie wurden alle in Orthoklaspartien gemessen, welche der monoklinen Kernpartie lamellargebauter Adulare entsprechen (näheres über Lamellenbau s. BAMBAUER und LAVES 1960). Der Lamellenbau ist z.T. primär (Wachstumslamellen auf den Vizinalen zu $(\bar{1}01)$), z.T. ist er sekundär durch Ba-Wegfuhr entstanden (beide schraffiert in Fig. 3). Für Ba-Verlust spricht die in den benachbarten Sektoren (Messpunkt 24 und 25) vorhandene grosse Ba-Diskontinuität (Cn_4 und Cn_{31}) im Kontaktbereich mit Baryt sowie die Tatsache, dass auf triklinem Keim monoklines Weiterwachsen nirgends festgestellt werden konnte. Die Ba-Wegfuhr erfolgt meistens in Sektoren mit hohem Cn-Gehalt, längs Störzonen oder an Pyrit- bzw. Dolomit-Korngrenzen, wo erhöhte Wasserzirkulation möglich ist.

Die optischen Achsen der dritten Gruppe gehören zum Vizinalindividuum, welches gegenüber dem Grundindividuum um die b-Achse um den Betrag von etwa $+12^\circ$ in eine vizinale Lage gedreht ist (punktiert in Fig. 1). Die Migration der Pole von (001) ist auf Fig. 3 ebenfalls dargestellt. – Es ist fraglich, ob die vizinale Lage dieses Sektors irgendwie in Zusammenhang steht mit dem sekundären Ba-Verlust. Anhand anderer Proben konnte mit Sicherheit festgestellt werden, dass Lamellenbau stets von verschiedenen Vizinalerscheinungen, Flächenvergrößerungen und Distorsionen begleitet ist. So sind z.B. die Partien mit primärem Lamellenbau des hier dargestellten Kornes durch die Vizinalen von $(\bar{1}01)$ begrenzt (Fig. 1 und 3).

Dieser Überblick möge die Vielfalt der Probleme zeigen, welche die Untersuchung von Feldspäten der Grube Lengnabach bietet.

Dem Vorsteher des Mineralogischen Institutes Basel, Herrn Prof. Dr. E. Wenk, verdanke ich die Anregung zu dieser Arbeit und die Durchsicht des Manuskriptes. Prof. Dr. P. Bearth gab mir ebenfalls wertvolle Ratschläge. Herrn Prof. Dr. H. Schwander möchte ich auch an dieser Stelle für die Ausführung der Mikrosondeanalysen danken.

LITERATUR

- BAMBAUER, H.U. und LAVES, F. (1960) – Zum Adularproblem. I. Adular vom Val Casatscha: Mimetischer Lamellenbau, Variation von Optik und Gitterkonstanten und ihre genetische Deutung. *SMPM* 40, 2, 177–205.
- BAUMHAUER, H. (1903) – Beitrag zur Kenntnis des Hyalophan. *Zeitschr. Krist.* 37, 603–608.
- GAY, P. and ROY, N.N. (1968) – The mineralogy of the potassiumbarium feldspar series. III. Subsolidus relationships. *Min. Mag.* 36, 914–932.
- GRAESER, S. (1965) – Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnatales. *SMPM* 45, 2, 597–795.
- GROTH, P. (1878) – Die Mineraliensammlung der K.-W.-Univ. Strassburg. Nr. 517.
- HADDING, A. (1921) – Röntgenographische Untersuchung von Feldspat. *Acta Univ. Lundensis* 17, S. 14.
- HINTZE, C. (1897) – Handbuch der Mineralogie II/2, 1425–1428.
- HONIGMANN, B. (1958) – Gleichgewichts- und Wachstumsformen von Kristallen. *Fortschr. phys. Chem.* 4.
- KENNGOTT, A. (1859) – Übersicht in den Jahren 1856/57, 107–108.
- LARDY, CH. (1833) – Essai sur la constitution géognostique du St-Gothard. *Denkschr. allg. Ges. ges. Natw.* 1, 2, 243–244.
- PETERSEN, T. (1866) – Zur Kenntniss der Mineralien des Binnenthal. VII. Ber. Off. Ver. Naturk., 128–129.
- ROY, N.N. (1965) – Binary System: $KAlSi_3O_8$ – $BaAl_2Si_2O_8$. *Repr. Nat.* 206, No. 4983, 501–502.
- SOLLY, R.H. (1901) – Sitzungsbericht. *Centrbl. Min.*, 761–762.
- (1904) – On various minerals from the Binnenthal. *Min. Mag.* 14, 16–17.
- VON WALTERSHAUSEN, S. (1855a) – Sitzungsber. *Akad. Wien Mat. Natw. Cl.* 14, 290–292.
- (1855b) – Einen Beitrag zur näheren Kenntniss des Dolomits in den Walliser Alpen. *Pogg. Ann.* 94, 115–141.

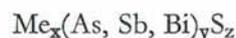
Adresse des Verfassers: Jos. Arnoth, Min.-Petr. Institut der Universität Basel, Bernoullianum, CH-4000 Basel.

7. Die Sulfosalz-Mineralien des Binnatales — Geochemie und Genese

STEFAN GRAESER

EINLEITUNG

Das grosse Interesse, des dem Dolomit am Lengenbach entgegengebracht wird, gilt speziell einer grossen Mineralfamilie, nämlich der Familie der Sulfosalze. Unter Sulfosalzen versteht der Mineraloge im allgemeinen Mineralien der folgenden chemischen Zusammensetzung (NOWACKI 1964):



Me steht dabei für Metallatome, und zwar handelt es sich im Lengenbach um folgende Elemente (nach abnehmender Häufigkeit, in Sulfosalzen): Pb, Cu, Ag, Tl, Fe, Zn usw. Die Wichtigkeit der drei Elemente Arsen, Antimon, Wismut – die sich gegenseitig teilweise oder vollständig ersetzen können – ist im Gebiet des Binnatales sehr unterschiedlich: im Lengenbach selbst haben wir es fast ausschliesslich mit reinen Arsen-Sulfosalzen zu tun; das Antimon spielt hier eine ganz untergeordnete Rolle. Ausserhalb des Lengenbachs ändern sich die Häufigkeiten jedoch recht wesentlich. Auf diese Befunde werden wir noch zurückkommen.

Die Sulfosalz-Mineralien kommen im Dolomit fast ausschliesslich in runden bis länglichen Hohlräumen vor (Drusen), die ihre Entstehung der Zirkulation von Hydrothermal-Wässern verdanken, und nur zu einem ganz geringen Teil auf eigentlichen Kluftflächen, die infolge von Bewegungen im Gestein entstanden sind. Arsenkies wurde an einer Stelle in gut ausgebildeten Kristallen als gesteinsbildendes Mineral gefunden. Auch die übrigen Sulfosalze treten bisweilen gesteinsbildend auf, diese jedoch vorwiegend derb.

In Fig. 1 wurden die Sulfosalz-Mineralien des Lengenbachs nach ihrer chemischen Zusammensetzung in ein Dreieck-Diagramm eingetragen, in dessen Eckpunkten die Elemente Schwefel-Arsen-

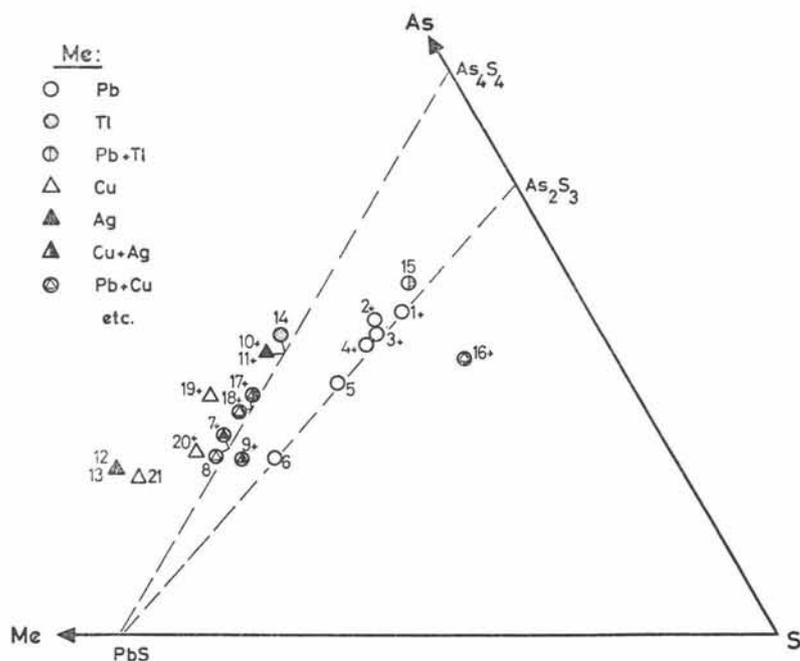


Fig. 1. Dreieck-Diagramm Me-As-S für Sulfosalze aus dem Lengenbach. Ein + hinter der Zahl gibt an, dass das Mineral bisher nur im Lengenbach gefunden worden ist. Die Zahlen geben die Punkte folgender Mineralien an:

$(\text{Pb}, \text{Tl})_x \text{As}_y \text{S}_z$		$(\text{Tl}, \text{Pb})_x \text{As}_y \text{S}_z$	
1+ Skleroklas PbAs_2S_4		14 Lorandit TlAsS_2	
2+ Rathit I $\text{Pb}_3\text{As}_5\text{S}_{10}$		15 Hutchinsonit $(\text{Tl}, \text{Pb})_{16}\text{As}_{40}\text{S}_{72}$	
3+ Baumhauerit $\text{Pb}_{11}\text{As}_{17}\text{S}_{36}$			
4+ Rathit II $\text{Pb}_9\text{As}_{13}\text{S}_{28}$			
5 Dufrenoyisit $\text{Pb}_2\text{As}_2\text{S}_5$			
6 Jordanit $\text{Pb}_{27}\text{As}_{14}\text{S}_{48}$			
$[\text{Pb}(\text{Cu}, \text{Ag})]_x \text{As}_y \text{S}_z$		$[(\text{Tl}, \text{Pb})(\text{Cu}, \text{Ag})]_x \text{As}_y \text{S}_z$	
7+ Marrit PbAgAsS_3		16+ Imhofit $\text{Tl}_6\text{Cu}_1\text{As}_{15}\text{S}_{40}$	
8 Seligmannit PbCuAsS_3		17+ Hatchit $\text{Tl}_3\text{Pb}_3\text{Ag}_2\text{CuAs}_6\text{S}_{15}$	
9+ Lengenbachit $\text{Pb}_{34}\text{Ag}_{11}\text{Cu}_5\text{As}_{24}\text{S}_{78}$		18+ Wallisit $\text{Tl}_1\text{Pb}_1\text{Cu}_1\text{As}_2\text{S}_5$	
$\text{Ag}_x \text{As}_y \text{S}_z$		$(\text{Cu}, \text{Zn})_x \text{As}_y \text{S}_z$	
10+ Smithit AgAsS_2		19+ Sinnerit $\text{Cu}_{1,4}\text{As}_{0,9}\text{S}_{2,0}$	
11+ Trechmannit AgAsS_2		20+ Nowackiit $\text{Cu}_6\text{Zn}_3\text{As}_4\text{S}_{12}$	
12 Proustit Ag_3AsS		21 Binnit $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	
13 Xanthokon Ag_3AsS			

Blei, Kupfer usw. (= Me) liegen. Zur besseren Übersicht wurden auch noch die Punkte für die Mineralien Bleiglanz (PbS), Realgar (As₄S₄), Auripigment (As₂S₃) eingetragen. Aus dem Diagramm ist leicht ersichtlich, dass das Hauptgewicht der Sulfosalze auf den Blei-Arsen-Sulfosalzen liegt, die mehr oder weniger genau auf der Verbindungslinie PbS-As₂S₃ liegen. Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass bei der Gruppe der Pb-As-Sulfosalze die bisher nur im Lengenbach nachgewiesenen Mineralien fast ausschliesslich bei den Arsen-reichen Gliedern (nahe bei As₂S₃) liegen.

ARSEN-ANTIMON-WISMUT -
VERTEILUNG IM DOLOMIT

Zu Beginn der wissenschaftlichen Untersuchungen im Lengenbach um 1830 bis in die Zeit nach dem Ersten Weltkrieg konzentrierten sich die Arbeiten auf die Mineralien im Lengenbach allein - es wurden noch keine Untersuchungen an den übrigen Dolomitaufschlüssen vorgenommen. Erst BADER (1934) stellte dann einige weitere Fundpunkte von Sulfosalz-Mineralien fest (Lokalitäten Nrn. 2, 6, 10 des Übersichtskärtchens).

Bei unseren Untersuchungen, die in Zusammenhang mit der Wiedereröffnung der Grube Lengenbach 1958 begonnen wurden, ging es zunächst einmal um die Abklärung der Frage, ob die Sulfosalz-Mineralien wirklich praktisch ausschliesslich auf den Lengenbach beschränkt seien. Dabei stellte sich schon nach kurzer Zeit heraus, dass Sulfosalze fast überall im Dolomit des Binnatales auftreten, wenn auch niemals in der Menge, wie sie im Lengenbach vorkommen. Ferner zeigte sich, dass hauptsächlich ein Sulfosalz-Mineral fast überall gefunden werden kann, und zwar handelt es sich dabei um Fahlerz. Es soll hier noch betont werden, dass der Name «Fahlerz» im Lengenbach meistens fälschlicherweise für derbe Sulfosalze verschiedenster chemischer Zusammensetzung verwendet wird: als «Fahlerz» bezeichnet der Mineraloge jedoch ausschliesslich Mineralien der Mischkristallreihe Tennantit (= Binnit) Cu₁₂As₄S₁₃-Tetraedrit Cu₁₂Sb₄S₁₃. Zwischen den beiden

Endgliedern Tennantit und Tetraedrit besteht vollkommene Mischbarkeit, d. h. dass sämtliche Übergänge auftreten können (s. u.).

Anhand der Fahlerze konnte gleich einmal festgestellt werden, dass das Verhältnis von As:Sb auf dem Gebiet des Binnatales grossen Schwankungen unterliegen muss. Da nämlich jede neugefundene Probe zunächst geröntgt wurde, zeigte sich, dass die Gitterdimensionen der untersuchten Mineralien sehr stark streuen. Dies liess darauf schliessen, dass bei den Fahlerzen merkliche Unterschiede in der As-Sb-Verteilung vorliegen. Beim Ersatz von Arsen (Atomradius = 1,25 Å) durch Antimon (Atomradius = 1,45 Å) wird das Kristallgitter erweitert, was anhand von Röntgenaufnahmen sofort feststellbar ist. Eine Ausweitung des Gitters findet allerdings auch bei Ersatz von Kupfer durch Silber statt.

Quantitative Spektralanalysen der Binner Fahlerze (GRAESER 1965) lieferten die in Fig. 2 dargestellten Gesetzmässigkeiten. Wegen des Einflusses von Silber auf die Gitterdimensionen wurden für Ag-arme und Ag-reiche Mineralien verschiedene Signaturen gewählt.

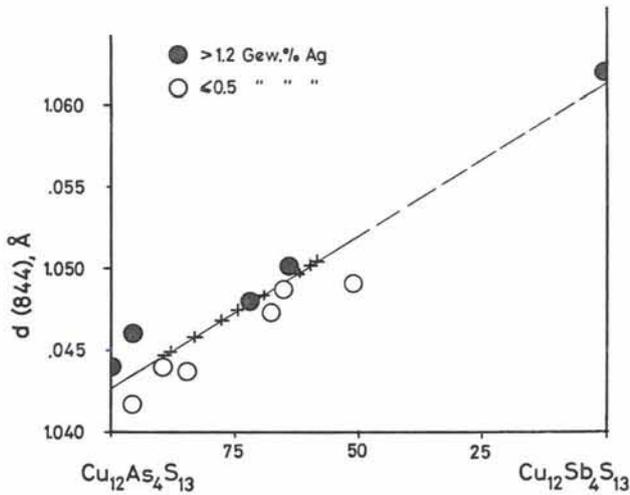


Fig. 2. Änderung des d-Wertes für (844) in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung bei Fahlerzen aus dem Binnatal. × = nur röntgenographisch untersuchte Proben.

Die ausgezogene Linie gibt die ungefähre Zunahme des Gitterabstandes d (844) an bei steigendem Ersatz des Arsens durch Antimon. Auf dieser Linie sind mit Kreuzen diejenigen Fahlerze dargestellt, die nur röntgenographisch, nicht aber chemisch untersucht wurden. Die Figur zeigt vor allem eine merkwürdige Tatsache: während auf der As-reicheren Seite, von 100 bis 50 Mol % Tennantit praktisch sämtliche Mischungsverhältnisse auftreten, finden wir zwischen 50 und 0 Mol % keine Übergänge mehr, sondern nur noch das Endglied Tetraedrit. Dies würde bedeuten, dass bei den Entstehungsbedingungen, die im Binnental geherrscht haben, die Mischbarkeit nicht vollständig war, sondern dass eine Mischungslücke zwischen 50 und 0 Mol % Tennantit auftrat.

Eine ähnliche spektralchemische Untersuchung wurde an dem Mineral Jordanit (etwa $Pb_{27}As_{14}S_{48}$) durchgeführt, die zu analogen Befunden führte: auch bei Jordanit kann Arsen durch Antimon ersetzt werden, und zwar wurde im Binntal ein Ersatz bis zu dem Verhältnis $As:Sb = 1:1$ festgestellt. Ein solches Mineral heisst dann nicht mehr Jordanit, sondern Geokronit. Dieses Mineral konnte somit zum erstenmal in der Schweiz nachgewiesen werden.

In Fig. 3 wurden die Resultate der chemischen Untersuchungen zusammengestellt, wofür das Teildreieck $2MeS$ (Me_2S)– As_2S_3 – Sb_2S_3 verwendet wurde. Für die Lengenbacher Sulfosalze wurden dieselben Signaturen verwendet wie in Fig. 1; die Verbindungslinien zwischen dem As_2S_3 - und Sb_2S_3 -Ast bezeichnen vollkommene bzw. teilweise Mischbarkeit von Arsen-Mineralien mit einem Antimon-Analogon (z.B. Tennantit–Tetraedrit usw.). Mit Kreuzsignaturen sind solche Sulfosalz-Mineralien angegeben, die im Dolomit des Binnatales, aber ausserhalb des Lengenbachs gefunden wurden. Die Figur ergibt nun folgendes Bild: während im Lengenbach selbst nur annähernd reine Arsen-Sulfosalze vorkommen (auf dem $2MeS$ – As_2S_3 -Schenkel liegend), treten ausserhalb dieser Fundstelle nur solche Sulfosalze auf, die durch die folgenden Eigenschaften charakterisiert sind:

1. sie besitzen einen grösseren Me-Anteil (d.h. die Gesamtmenge von $As + Sb$ ist merklich geringer als im Lengenbach);

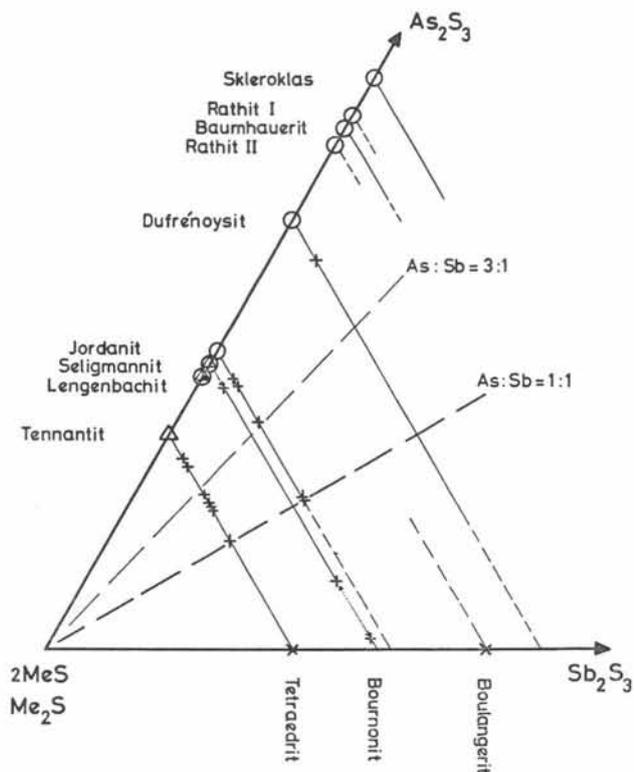


Fig. 3. Dreieck-Diagramm 2MeS (Me_2S)- As_2S_3 - Sb_2S_3 für Sulfosalze aus dem Dolomit des Binnatales. \times = chemische Zusammensetzung von Mineralien, die ausserhalb des Lengenbaches vorkommen. Für übrige Signaturen vgl. Fig. 1.

2. es sind vorwiegend Mineralien, bei denen Arsen durch Antimon ersetzt werden kann, die also zur Mischkristallbildung neigen.

Reine Antimon-Sulfosalze konnten nur zwei festgestellt werden: einerseits das Cu-Sb-Fahlerz Tetradrit (Fundstelle Nr. 21), andererseits das Pb-Sb-Sulfosalz Boulangerit (Fundstellen Nr. 4 und 13). Zusammen mit dem Boulangerit kommt an der Fundstelle Nr. 4 (Turtschi, an der Strasse zwischen Binn und Giessen) auch

ein Pb-Bi-Sulfosalz vor, das als neue Mineralart (Giessenit) bestimmt werden konnte (GRAESER 1963).

Anhand der Sulfosalz-Mineralien konnten wir nun eine recht deutliche Zonierung dieser Mineralien feststellen, und zwar einerseits im Lengenbach selbst, andererseits auch im gesamten Binnatal. Im Lengenbach äussert sich diese Zonierung folgendermassen: in der tiefsten, am weitesten südlich gelegenen Region treten vorwiegend die As-reichsten Mineralien (wie Realgar, Skleroklas usw.) auf. Je weiter man gegen Norden geht, desto ärmer werden die Sulfosalze an Arsen (Jordanit, Lengenbachit, Bleiglanz). In diesem Bereich wird meistens das Arsen schon durch merkliche Mengen an Antimon ersetzt. Wichtig ist noch die Tatsache, dass in der gesamten Grube direkt benachbarte Mineralien im allgemeinen ähnliche Arsen-Gehalte aufweisen (man wird demnach normalerweise nie Realgar unmittelbar neben Bleiglanz finden können). Bei der röntgenographischen Untersuchung der ausserhalb des Lengenbachs auftretenden Fahlerze wurde festgestellt, dass mit steigender Entfernung vom Lengenbach die Gitterdimensionen grösser werden (entsprechend einem zunehmenden Antimon-Gehalt). Der Lengenbach stellt demnach einen Schwerpunkt der Arsen-Vererzung im Dolomit dar; mit steigender Entfernung von dieser Fundstelle nimmt einerseits die Gesamtmenge an Sprödmetallen (As, Sb) ab, andererseits wird Arsen in zunehmendem Masse durch Antimon ersetzt.

Diese Zonierung kann nur dadurch erklärt werden, dass Arsen früher aus den Lösungen ausgefällt wurde als Antimon, d.h. während Arsen schon weitgehend aus der Lösung entfernt wurde, blieb Antimon noch grösstenteils in Lösung und konnte deshalb weiter transportiert werden. Der Lengenbach liegt nun offenbar gerade an der Stelle, wo ein grosser Teil des Arsens aus der Lösung ausgefällt wurde. Ein Grund für diese frühzeitige Arsen-Ausfällung (vor Antimon) könnte nach PETERSEN (1965) in der gegenüber Antimon sehr hohen Konzentration des Arsens zu suchen sein. JAMBOR (1968) beobachtete denselben Vorgang in der Sulfosalz-Fundstelle Madoc, Ontario (Kanada), die frappante Ähnlichkeiten mit dem Lengenbach aufweist.

SPURENANALYSEN AN ZINKBLENDE UND BLEIGLANZ

In Zusammenhang mit Isotopen-Untersuchungen (s.u.) wurde eine ganze Anzahl von Bleiglanzen und Zinkblenden aus dem Dolomit des Binnatales auf ihre Spurengehalte untersucht.

a) Zinkblende. Ausschlaggebend für die spurenanalytische Untersuchung der Binner Zinkblenden war u.a. das Problem der diversen Farbvarietäten dieses Minerals. So findet man innerhalb des Lengenbachs sämtliche Übergänge von hellgelb-durchsichtigen bis zu braun-schwarzen Exemplaren. Die allgemein übliche Erklärung dafür, dass nämlich die Intensität der Färbung bei steigendem Eisen-Gehalt zunehme, konnte für den Lengenbach im speziellen nicht angewendet werden, da der Fe-Gehalt temperaturabhängig ist («geologisches Thermometer»), und solche Temperaturunterschiede für unsere Fundstelle unwahrscheinlich erschienen.

In der unten folgenden Tabelle seien die Spurenelemente (in ppm) einiger Binner Zinkblenden angegeben (die Zahlen für die Fundstellen beziehen sich auf die Kartenskizze):

Tabelle 1. Spurengehalte von Zinkblenden

Probe Nr.	Fund-stelle	Farbe	Cu	Cd	In	Ga	Mn	Fe
L 426	1	hellgelb	27	1475	20	—	87	7000
SG 895 a	1	dunkelbraun	19	1150	12	—	240	6800
SG 114	11	braun-schwarz	820	2400	34	80	250	7000

Die drei Analysen beweisen recht deutlich, dass die Farbe (wenigstens in unserem Fall) unabhängig sein muss vom Eisengehalt, der für die drei Zinkblenden praktisch identisch ist. Hingegen scheint der Mangangehalt die Färbung wesentlich zu beeinflussen (was eine grössere Anzahl von Analysen bestätigt hat, vgl. GRAESER 1969). Sobald der Mangangehalt etwa 100 ppm überschreitet, wird die Zinkblende braun gefärbt. Merkwürdig und bisher ungeklärt ist die Tatsache, dass keine der Lengenba-

cher Zinkblenden Gallium enthält, welches Element sonst stets nachgewiesen werden konnte. Es scheint irgendein Zusammenhang zu bestehen zwischen dem Arsengehalt der Begleitminerale und dem Galliumgehalt der Zinkblende. Für nähere Einzelheiten siehe GRAESER (1969).

b) Bleiglanz. Auch der Spurengehalt einer Anzahl von Bleiglanzen aus dem Binner Dolomit wurde bestimmt. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Bleiglanze nach ihren Spurenelementen in einige Gruppen gliedern lassen (speziell nach ihrem Wismut-Gehalt).

In Tabelle 2 seien die Werte der Vertreter von drei solchen Gruppen angegeben (in ppm):

Tabelle 2. Spurengehalte von Bleiglanzen

Probe Nr.	Fund-stelle	Cu	Bi	Sb	Ag	Sn
SG 895	1	20	18	1750	5200	—
SG 447	4	55	220	1700	3000	220
SG 120	10	70	1000	900	1500	220

Die Zusammenhänge zwischen Spurenelement-Gehalt und Blei-Isotopen-Zusammensetzung waren mehrfach derart eng, dass auf Grund einer vorangegangenen Bestimmung entweder die Isotopen-Zusammensetzung oder die Spurengehalte vorausgesagt werden konnten. Die Blei-Isotopen-Untersuchung lieferte denn auch eine einigermaßen wahrscheinliche Erklärung für die merkwürdige Gruppenbildung: es handelt sich um verschiedene Mischungsgrade zwischen Bleiglanz, der schon im Dolomit vorlag, und Material, das aus den weiter südlich anstehenden Gneisen zugeführt wurde. Für die Gruppenbildung von ausschlaggebender Bedeutung wirkte sich dabei die ursprünglich im Dolomit vorhanden gewesene Menge Bleiglanz aus, d. h., dass an Stellen, wo viel Bleiglanz vorlag (wie z. B. im Lengenbach, aber auch an andern Fundstellen) ein kaum nachweisbarer Mischungseffekt auftrat, während andernorts, wo nur sehr wenig Bleiglanz vorhanden war

(wie z.B. Weisse Fluh, Nr. 10) eine völlig veränderte Spurenzusammensetzung (und Isotopen-Zusammensetzung) resultierte.

Es sei hier noch erwähnt, dass wir eine Abhängigkeit der Bleiglanz-Morphologie vom Spurengehalt, wie sie von MARSHALL et al. (1961) beschrieben wurde, nicht eindeutig nachweisen konnten, obwohl im Binnatal sämtliche Übergänge von vorwiegend würflichen bis zu rein oktaedrischen Kristallen vorkommen. Leider konnten gerade die oktaedrischen Bleiglanze nie in einer für eine Spektralanalyse genügenden Menge gefunden werden.

ISOTOPEN-UNTERSUCHUNGEN (HOEFS et al. 1968 und GRAESER 1968)

Dieser relativ junge Forschungszweig der Mineralogie schien uns ganz besonders geeignet, neue Anhaltspunkte für die Erklärung der Genese dieser merkwürdigen Mineralien zu liefern. So war es sehr günstig, dass zwei voneinander unabhängige Untersuchungsmethoden durchgeführt werden konnten.

a) Schwefel-Isotopen-Untersuchung. An einer grossen Zahl von Sulfiden und Sulfosalzen des Binnatales wurden Schwefel-Isotopen-Zusammensetzungen bestimmt. Es zeigte sich auch hier wieder, dass die Mineralien sehr uneinheitlich zusammengesetzt sind. Die Messwerte für δS^{34} lagen in einem Streubereich von -20 bis $+10$ (bezogen auf den Cañon Diablo Standard). Die Mineralien vom Lengenbach ergaben durchwegs sehr niedrige Gehalte an dem Isotop S^{34} ($\delta S^{34} = -12$ bis -20). Diese niedrigen Werte werden allgemein als charakteristisch für Mineralien sedimentären Ursprungs angesehen. Die Ursachen für die uneinheitliche Schwefel-Isotopen-Zusammensetzung sind ebenfalls wieder in einer Materialzufuhr aus den im Süden anstehenden Gneisen zu suchen.

b) Blei-Isotopen-Zusammensetzungen. Auf Grund der Blei-Isotopen-Bestimmungen liessen sich mehrere verschiedene Bleiglanz-Gruppen unterscheiden (analog zu den Bleiglanz-Spurenanalysen). Wenn wir (wie oben gesagt) den Bleiglanz vom Lengenbach als weitgehend unverändert betrachten, so erhalten wir aus der Isotopen-Zusammensetzung dieses Bleies ein Alter von etwa 235 Millionen

Jahren, das natürlich viel zu hoch ist (man bezeichnet solch ein Blei als sogenannten «B-Typ»), da der Beginn der Trias üblicherweise auf etwa 220 Millionen Jahre angesetzt wird. Bleiglanze aus den Gneisen der Monte-Leone-Decke vom Simplontunnel sowie aus dem Dolomit von Crevoladossola (etwa 25 km südlich Binn) ergaben identische Isotopen-Zusammensetzungen. Man kann nun annehmen, dass die Leone-Gneise Bleiglanz-Vererzungen enthalten, die während der Trias-Zeit durch die Erosion abgetragen wurden und ins Meer gelangten. Da bei Blei-Isotopen durch diesen Vorgang keine Fraktionierung bewirkt wird, sollte das Blei, das dann im Meerwasser gelegentlich wieder als Bleiglanz ausgefällt wird, noch die ursprüngliche Isotopen-Zusammensetzung aufweisen. Für einen solchen Vorgang würden auch die Ergebnisse der Schwefel-Isotopen-Untersuchung sprechen, machen sie doch eine sedimentäre Entstehung zumindest eines Teils der Erzminerale wahrscheinlich.

Die Bleiglanz-Gruppenbildung hinwieder lässt sich, genau wie bei den Spurengehalten der Bleiglanze ausgeführt wurde, durch eine nachträgliche Materialzufuhr aus den Gneisen erklären. Es wurden in den Gneisen sogar Bleiglanze gefunden, aus deren Isotopen-Zusammensetzung man durch verschiedene Mischungsgrade sämtliche Isotopen-Gruppen berechnen kann (GRAESER 1968). Es sei nochmals betont, dass sich die Resultate von Spurenanalysen, Blei- und Schwefel-Isotopen-Untersuchungen auf genau dieselbe Weise erklären lassen.

GENESE DER SULFOSALZ-MINERALIEN (GRAESER 1965)

Eine Erklärung der Genese der merkwürdigen Sulfosalze hat schon mehrere Generationen von Mineralogen beschäftigt. Ein nochmaliger Blick auf die Fig. 1 lässt uns klar werden, dass die Mineralien des Lengenbaches aus ganz gewöhnlichen Elementen zusammengesetzt sind, wenn man vom Thallium absieht, das aber eine untergeordnete Rolle spielt. Weshalb also entstanden hier aus ganz gewöhnlichen Elementen derart ungewöhnliche Mineralien, und warum entstanden solche Mineralien nicht auch an vielen anderen Orten?

a) Rückblick auf ältere Theorien. Die meisten älteren Erklärungen (siehe z.B. BADER 1934) gehen auf dasselbe Prinzip zurück: sämtliche am Aufbau der Sulfosalz-Mineralien beteiligten Elemente lagen schon zu Beginn der alpinen Metamorphose im Dolomit vor, und zwar in Form von Arsenkies (als Arsen-Lieferant), Bleiglanz, Kupferkies, Pyrit, Zinkblende usw. Diese Vererzung stand in Zusammenhang mit der Intrusion des Geisspfad-Serpentins. Während der alpinen Metamorphose wurde dieser Mineralbestand dann so umgewandelt, dass die diversen Arsen-Sulfosalze entstanden. HUTTENLOCHER (1934) war in seiner Interpretation etwas zurückhaltender, indem er die Möglichkeit einer späteren Materialzufuhr offenliess.

Gegen diese Theorie, vor allem gegen die Anwesenheit von Arsen-Mineralien (Arsenkies) im primären Mineralbestand, spricht hauptsächlich die Tatsache, dass Arsenkies gleichzeitig mit den Pb-As-Sulfosalzen entstanden sein muss und z.T. nachweisbar durch Verdrängung von Pyrit gewachsen ist. Ausserdem ist eine Abstammung der Elemente Pb, As, Zn usw. von ultrabasischen Gesteinen eher ungewöhnlich.

b) Neuere Anschauung. Nach den in vieljähriger Zusammenarbeit mit der «Arbeitsgemeinschaft Lengenbach» erhaltenen Erkenntnissen und auf Grund der durchgeführten Untersuchungen erscheinen uns folgende Ansichten über die Genese der Binner Sulfosalze am wahrscheinlichsten:

- I. Im Dolomit lag vor Beginn der alpinen Metamorphose ein primärer Mineralbestand vor, der im wesentlichen Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit usw. umfasste, aber noch keine Arsen-Mineralien. Diese Mineralien dürften synsedimentär gebildet worden sein, d.h. während der Ablagerung des heute als Dolomit vorliegenden Sedimentes.
- II. Gegen Ende der alpinen Metamorphose – nach Abklingen der grossen Bewegungen – drangen As-Cu-Ag-Tl-usw.-haltige Lösungen in den Dolomit ein und reagierten mit den dort vorhandenen Mineralien unter Bildung der diversen Sulfosalz-Mineralien, und zwar bildeten sich dabei zunächst die Arsen-ärmsten Mineralien (Jordanit), die bei weiterer Arsen-

Zufuhr sukzessive durch Arsen-reichere verdrängt wurden. Erst nachdem die Sulfosalze gewissermassen an Arsen abgesättigt waren, kam es zur Abscheidung von freiem Arsensulfid (Realgar, Auripigment). Die Ausfällung des Arsens erfolgte vor derjenigen des Antimons.

- III. Die in den hydrothermalen Lösungen angereicherten Stoffe wie Arsen, Kupfer usw. stammen aus den im Süden anstehenden Gneisen der Monte-Leone-Decke, wo in der Umgebung des Cherbadung (siehe Kartenskizze) Anzeichen einer recht weit verbreiteten Cu-As-Vererzung gefunden wurden. Bei dem unverwitterten Erz dieser kleinen Lagerstätte handelt es sich um ein As-Fahlerz (Tennantit) mit etwas Sb und Spuren von Bi sowie um Kupferkies. Diese Erze wurden während der alpinen Metamorphose teilweise remobilisiert und gelangten in Lösung bis in den Dolomit.

Es gibt eine ganze Anzahl von Untersuchungsergebnissen, die für eine solche «Zwei-Phasen-Genese» der Sulfosalze sprechen. Es sei vor allem erinnert an die Blei- und Schwefel-Isotopen-Untersuchungen sowie an die Spurenanalysen, die jeweils auf eine Materialzufuhr aus den Gneisen hindeuteten. Wichtig ist zudem folgender Befund: bei Untersuchungen der Cu-As-Vererzungen in den Gneisen wurden an derselben Stelle zwei neue Arsenat- bzw. Arsenit-Mineralien entdeckt (GRAESER 1966), von denen das eine (Asbecasit) etwa 1% Thallium-Oxyd enthält. Thallium ist ja nun das einzige seltene Element im Lengenbach, dessen Herkunft auf diese Weise auch abgeklärt werden kann. Die beiden Mineralien, die als gut ausgebildete Kristalle in alpinen Klüften auftreten, dürften wohl in Zusammenhang mit der Remobilisierung der unmittelbar benachbarten Cu-As-Erze entstanden sein.

Der Vorgang der Sulfosalz-Bildung im Sinne einer ständigen As-Zunahme kann vielfach beobachtet werden. GIUSCA (1930) beschrieb diese Art der Verdrängung, die er auf Grund erzmikroskopischer Untersuchungen an Lengenbacher Sulfosalzen festgestellt hatte. Denselben Vorgang kann man häufig auch makroskopisch erkennen (z.B. Aufwachsung von Jordanit auf Bleiglanz, von Lengenbachit auf Bleiglanz usw.). Besonders instruktive Exem-

plare stammen vom Turtschi, wo der Geokronit den Bleiglanz «auffrisst». Inwieweit nachträglich eine Umkehrung dieses Vorganges möglich wäre – im Sinne eines Arsen-Abbaues durch erlere Thermene – ist im Moment noch nicht abzuklären.

AUSDEHNUNG DER VERERZTEN SCHICHTEN IM LENGENBACH

Bei einem konsequenten Mineralabbau im Lengenbach ist es natürlich von grossem Interesse, die ungefähre Ausdehnung der mineralreichen Partien im Dolomit zu kennen. Zu diesem Zweck wurden vom Autor vor einigen Jahren mit Hilfe einer tragbaren Kernbohrmaschine Kernbohrungen in der Grube abgeteuft. Über das ganze Gebiet der Grube verteilt wurden Bohrkerne im Dolomit gezogen. Zunächst wurde eine Anzahl Löcher mit möglichst flachem Einfallswinkel gegen Süden gebohrt und anschliessend senkrechte Löcher, ungefähr parallel zur Fallrichtung des Dolomites. Es wurde in einem Fall eine maximale Tiefe von 21 m erreicht, im allgemeinen betragen die erreichten Tiefen (bzw. Längen) etwa 12–15 m. Insgesamt wurden gegen 100 m Bohrkerne gezogen, von denen bisher leider nur knapp 20 m einer Senkrechtbohrung (= Nr. 9) in die mineralreichste Zone ausgewertet werden konnten. Zu ihrer Auswertung mussten gegen 60 Mineralproben röntgenographisch untersucht werden, da dies die einzige Möglichkeit zur sicheren Identifizierung der meist winzig kleinen Mineralsplitter darstellt.

Die Resultate dieser Auswertung waren immerhin recht aufschlussreich. Einerseits konnte festgestellt werden, dass es bis zu einer Tiefe von 20 m (ab Oberfläche 1965) noch Sulfosalze gibt, deren Häufigkeit allerdings deutlichen Schwankungen unterliegt (Fig. 4a). Andererseits liessen sich gewisse gesetzmässige Änderungen der Mineralarten mit zunehmender Tiefe erkennen (Fig. 4b), die etwas überraschten und von uns nicht erwartet wurden. Eine Auswertung der restlichen 80 m Bohrkerne wird zeigen, ob diese Arsen-Verarmung der Lengenbacher Sulfosalze gegen die Tiefe zu eine allgemeine Erscheinung darstellte.

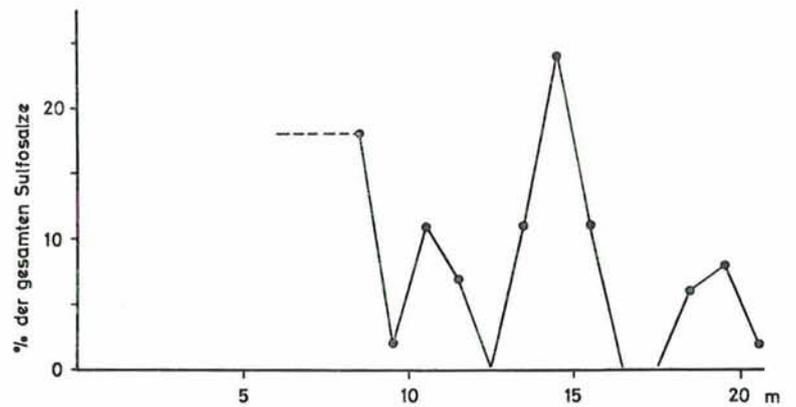


Fig. 4a. Änderungen in der Menge der auftretenden Mineralien in Abhängigkeit von der Tiefe bei Bohrkern der Bohrung Nr. 9 (Oberfläche des Grubenniveaus 1965 = 0 m)

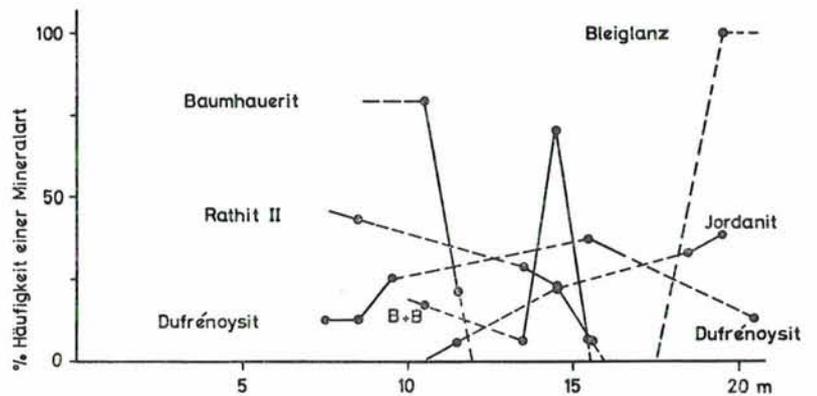


Fig. 4b. Änderungen in der Art der auftretenden Mineralien in Abhängigkeit von der Tiefe bei Bohrkern Nr. 9.

Bei der röntgenographischen Untersuchung der Erzproben aus den Bohrkernen wurden einige Mineralien gefunden, die noch nicht bestimmt werden konnten, bei denen es sich evtl. um noch nicht bekannte Mineralarten handeln könnte. Bei einer Tiefe von etwa 14–15 m wurde sodann recht häufig eine merkwürdige enge

Verwachsung von Baumhauerit mit Bleiglanz entdeckt, die unter dem Binokular betrachtet durchaus homogen erschien. Die Prüfung einer solchen Probe mit der Elektronen-Mikrosonde zeigte

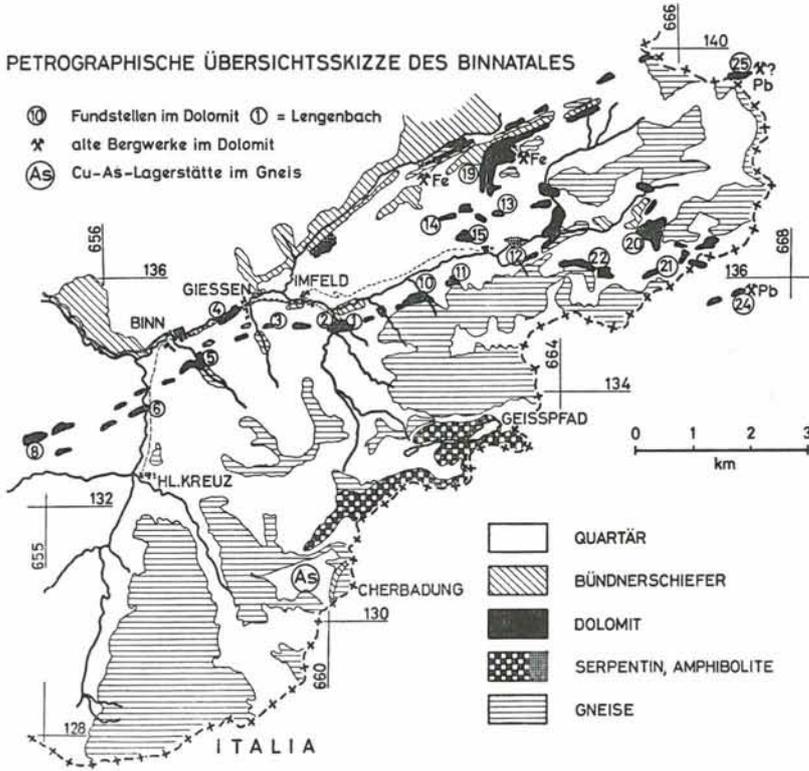


Fig. 5. Fundstellen im Dolomit

- | | |
|--|---|
| 1 Lengnabach | 13 Dolomitaufschluss nördlich Freiche |
| 2 Messerbach | 14 Schmidigen Wissi |
| 3 Dolomitaufschluss südlich Giessen | 15 Dolomitaufschluss südlich Schmidigen Wissi |
| 4 Turtschi | 19 Tschampigen Wissi |
| 5 Reckibach («Schmids Tobel») | 20 Dolomitaufschlüsse am Fuss des Ofenhorns |
| 6 Kohlplatz | 21 Ochsenfeld |
| 8 Ostabhang Breithorn-Saflischtal-Saflischpass | 22 Balmen |
| 10 Weisse Fluh | 24 Ehemalige Pb-Mine (Italien) |
| 11 Hinterer Kollergraben | 25 Hohsandhorn (Italien) |
| 12 Halsen | |

jedoch dann, dass es sich um eine sehr enge Verwachsung handelt (in Fig. 4b als «B + B» bezeichnet).

Anhand der Kernbohrungen konnte zudem festgestellt werden, dass bei einem Abbau in dem Rahmen, wie er heute betrieben wird, noch einige weitere Strahler- und Mineralogen-Generationen wertvolle und interessante Mineralien im Lengenbach ausbeuten können – ob auch in der heutigen Qualität und Quantität, das wird die Zukunft zeigen!

LITERATUR

- BADER, H. (1934) – Beitrag zur Kenntnis der Gesteine und Minerallagerstätten des Binnentals. *SMPM 14*, 319–441.
- GRAESER, S. (1963) – Giessenit – ein neues Pb-Bi-Sulfosalz aus dem Dolomit des Binnentales. *SMPM 43*, 471–478.
- (1965) – Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnentales. *SMPM 45*, 597–795.
- (1966) – Asbecasit und Cafarsit, zwei neue Mineralien aus dem Binnental (Kt. Wallis). *SMPM 46*, 367–375.
- (1968) – Lead isotopes and minor elements in galenas and sulphosalts from Binnental. *Earth and Planet. Sci. Letters 4*, 384–392.
- (1969) – Minor elements in sphalerites and galenas from Binnental (Relations to coloration problems, isotopic compositions, etc.). *Contr. Mineral. and Petrol. 24*, 156–163.
- GIUSCA, D. (1930) – Die Erze der Lagerstätte vom Lengenbach im Binnental, Wallis. *SMPM 10*, 152–177.
- HOEFS, J. und GRAESER, S. (1968) – Schwefelisotopenuntersuchungen an Sulfiden und Sulfosalzen des Binnentales. *Contr. Mineral. and Petrol. 17*, 165–173.
- HUTTENLOCHER, H. (1934) – Die Erzlagerstättenzonen der Westalpen. *SMPM 14*, 22–149.
- JAMBOR, J.L. (1967) – New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario – Part 1. *Canad. Mineral. 9*, 7–24.
- (1967) – New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario – Part 2, Mineral descriptions. *Canad. Mineral. 9*, 191–213.
- (1968) – New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario – Part 3, synthesis, paragenesis, origin. *Canad. Mineral. 9*, 505–521.
- MARSHALL, R.R. and JOENSUU, O. (1961) – Crystal habit and trace element content of some galenas. *Econ. Geol. 56*, 758–771.
- NOWACKI, W. (1964) – Zur Kristallchemie der Sulfosalze, insbesondere aus dem Lengenbach (Binnental, Kt. Wallis). *SMPM 44*, 459–484.
- PETERSEN, U. (1965) – Application of saturation (solubility) diagrams to problems in ore deposits. *Econ. Geol. 60*, 853–893.

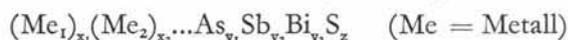
Adresse des Verfassers: Dr. Stefan Graeser, Naturhistorisches Museum, Augustiner-gasse, CH-4000 Basel.

8. Kristallchemie der Sulfosalze aus dem Lengenbach

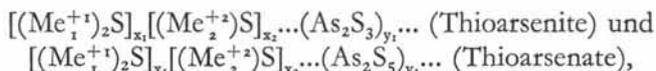
WERNER NOWACKI¹

In der Grube Lengenbach wurden bis jetzt die Mineralarten der Tabelle 1 gefunden. Die Lagerstätte ist also ausserordentlich vielfältig (etwa 60 verschiedene Mineralarten). Weltberühmt ist sie zweifellos durch den Gehalt an *Arsen-Sulfosalzen* geworden (25 verschiedene Spezies); 15 davon (°) wurden bis jetzt ausschliesslich hier gefunden. Unter ihnen befinden sich vier neue Mineralarten (*): Imhofit, Nowackiit, Sinnerit und Wallisit (NOWACKI 1966, 1967a). Einige Spezies sind auch für die Schweiz wohl überhaupt neu: Rhomboedrischer Molybdänglanz (3R) (GRAESER 1964, TAKÉUCHI-NOWACKI 1964), Wurtzit (2H) (NOWACKI-KUNZ-MARUMO 1964), Lorandit (GRAESER 1967), Xanthokon (NOWACKI-KUNZ-MARUMO 1964) und Stephanit (NOWACKI 1969b).

Als Sulfosalz sei eine Verbindung vom Typus



bezeichnet. Es ist zweckmässig, sie in zwei Gruppen zu teilen, in *Sulfosalze in engerem Sinne*



für welche die Valenzregel erfüllt ist, und in *komplexe Sulfide*, bei denen die Regel nicht erfüllt ist (z.B. Binnit $Cu_{12}As_4S_{13}$: $12 \times 1 + 4 \times 3 = 24 \neq 13 \times 2 = 26$).

Die Röntgenstrukturuntersuchungen haben nun gezeigt, dass die As-Atome entweder trigonal-pyramidal von drei S-Atomen (Thioarsenite) oder tetraedrisch von vier S-Atomen (Thioarsenate) umgeben sind, d.h. sie bilden entweder die Spitze einer dreiseitigen Pyramide mit den S als Basisecken von einer mittleren Kantenlänge As-S von 2,31 Å und einem mittleren Winkel S-As-S = 97,6°, oder sie besetzen das Zentrum eines regelmässigen Tetraeders mit den S als Ecken mit einem Abstand As-S = 2,245 Å.

¹ Mitt. Nr. 196, Abteilung für Kristallographie und Strukturlehre, Universität Bern, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern. – Teil 48 der Arbeiten über Sulfosalze und Sulfide.

Tabelle 1. Verzeichnis der im Lengenschbach gefundenen Mineralien

(°: bis jetzt ausschliesslich im Lengenschbach gefunden, *: neue Mineralarten, (): Literatur).

Oxyde	Muskowit	Fahlerz
[Ilmenit]	Phlogopit	°Faseriges Sulfosalz
Quarz	Prehnit mit	°Hatchit
Rutil	Zeolith (NOWACKI	Hutchinsonit
Karbonate	1967a)	°Imhofit*
[Aragonit]	Skapolith	Jordanit
Calcit	Talk	°Lengenschbachit
Cerussit	Turmalin	Lorandit
Dolomit	Sulfide	°Marrit
Malachit	Auripigment	°Nowackiit*
Siderit	Bleiglanz	Proustit
Phosphate	Bornit (NOWACKI	Pyrargyrit (NOWACKI
Apatit	1967a)	1969b)
Hamlinnit	Kupferkies (NOWACKI	°Rathit-I
Sulfate	1967a)	°Rathit-II
Baryt	Markasit (NOWACKI-	°Rathit-IV
Molybdate	WUENSCH et al. 1964)	Seligmannit
Wulfenit	Rho. Molybdänglanz	°Sinnerit*
Silikate	(3R)	°Skleroklas (Sartorit)
Adular	Pyrit	°Smithit
Albit	Realgar	Stephanit (NOWACKI
Fuchsit	Wurtzit (2H)	1969b)
Hemimorphit	Zinkblende	Tetraedrit (STALDER,
(GRAESER, priv. Mitt.	Sulfosalze	1968-Ausbeute, un-
in NOWACKI 1967a)	Arsenkies	publ.)
Hyalophan	°Baumhauerit	°Trechmannit
	Binnit (Tennantit)	°Wallisit*
	(°?) Dufrénoysit	Xanthokon

Sind diese Pyramiden bzw. Tetraeder nicht miteinander verknüpft, so resultiert ein Verhältnis $S:As = 3:1$ bzw. $4:1$. Sind andere (As:S)-Verhältnisse vorhanden, so müssen entweder weitere S dazukommen oder die As, S-Polyeder miteinander verknüpft sein (oder beides). Es wurde nun eine *Klassifikation aller Sulfosalze*, basierend auf dem Verhältnis $\varphi = z/(y_1 + y_2 + y_3)$, aufgestellt (NOWACKI 1968b, 1969a), welche in Tabelle 2 dargestellt ist. Beispiele wurden aus dem Gesamtbereich aller As-, Sb- und Bi-Sulfo-

salze herbeigezogen. Strukturell am besten sind bis jetzt die im Lengenbach vorkommenden Arsen-Sulfosalze bekannt (NOWACKI 1960a, 1960b, 1961, 1963a, 1963b, 1964, 1966, 1967a, 1967c). Ähnlich wie bei den Silikaten unterscheidet man auch hier Insel-, Gruppen-, Ring-, Ketten-, Netz- und Gerüst-Strukturen.

Entsprechend dieser Klassifikation werden nun die im Lengenbach vorkommenden Sulfosalze im folgenden etwas genauer besprochen.

Strukturtyp I. b₁

1. *Stephanit* $[\text{SbS}_3|\text{S}|\text{Ag}_3^{\text{III}}]$, orthorhombisch, $a_0 = 7,64$, $b_0 = 12,43$, $c_0 = 8,28$, $\text{Cmc}2_1$, $\varphi = (3 + 1)/1 = 4$ (NOWACKI 1969b, RIBAR und NOWACKI 1969). Stephanit wurde zusammen mit Pyrargyrit $[\text{SbS}_3|\text{Ag}_3^{\text{III}}]$, Zinkblende und Dolomit im Jahre 1967 anlässlich der Durchsicht der Lengenbachstufen im Dept. of Mineralogy and Petrology der Universität Cambridge (England) als isoliertes Stückchen und im Jahre 1968 auf einer als «Smithit» etikettierten Probe in den Naturwissenschaftlichen Sammlungen der Stadt Winterthur gefunden. Erste reine Antimonsulfosalze aus dem Lengenbach! (vermutlich aus der nördlichen Partie stammend). Neu für die Schweiz.

Strukturtyp I. c₁

2. *Binnit* $[(\text{AsS}_3)_4|\text{S}|\text{Cu}_6^{\text{III}}\text{Cu}_6^{\text{IV}}]$, kubisch, $a_0 = 10,232 \text{ \AA}$, Raumgruppe $I\bar{4}3m$, $\varphi = (12 + 1)/4 = 3,25$ (WUENSCH et al. 1966a, b). Ausgehend von der Zinkblendestruktur $\text{Zn}_{16}\text{S}_{16}$ kann diejenige von Binnit durch $\text{Zn}_{16} \rightarrow \text{Cu}_{12}\text{As}_4$, Weglassen von $1/4$ der S und Hinzufügen eines Extra-S erhalten werden: $\text{Zn}_{16}\text{S}_{16} \rightarrow \text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{16-4+1}$. Das eine Cu-Atom (Cu^{III}) ist planar-dreieckig von 3 S im Abstande $1 \times 2,204 + 2 \times 2,258 \text{ \AA}$, das andere (Cu^{IV}) tetraedrisch im Abstand $2,337 \text{ \AA}$ von 4 S umgeben; $\text{As-S} = 2,246 \text{ \AA}$, $\sphericalangle \text{S-As-S} = 98^\circ 22'$. Die Struktur ist ein Haufwerk dieser Polyeder, wobei die AsS_3 -Pyramiden isoliert sind und noch ein zusätzliches S pro Formeleinheit vorhanden ist. Dieses zusätzliche S

ist oktaedrisch von 6 Cu (2,204 Å; alle Abstände werden in dieser Arbeit in Å ausgedrückt) umgeben, während die S der AsS₃-Pyramiden tetraedrisch von 2 Cu (2,337) + 1 Cu (2,258) + 1 As (2,246) koordiniert sind. – Der Binnit tritt in relativ grossen, sehr schön kristallisierten Exemplaren auf und ist zweifellos in Sammlerkreisen eines der geschätztesten Lengenbach-Mineralien. – Als *Fablerz* wird meist schlecht kristallisierter Binnit (Tennantit) bis *Tetraedrit* (Sb-Analogon) bezeichnet.

3. *Jordanit* [Pb₁₃As₇S₂₃(?)], monoklin $a_0 = 8,96$, $b_0 = 31,92$, $c_0 = 8,45$, $\beta_0 = 117^\circ 50'$, $P2_1/m$, $\varphi = 23/7 = 3,3$ (?) (NOWACKI et al. 1963, NOWACKI-WUENSCH 1964, WUENSCH et al. 1966, NOWACKI, BURRI et al. 1967). Er ist meist plattig pseudo-hexagonal nach (010) ausgebildet (Fig. 1,2). (Viele Photographien von Lengenbachmineralien sind in NOWACKI 1969c enthalten). Dies rührt strukturell von 10 Oktaederschichten (Me = Zentren, S = Ecken)/(010) pro b_0 -Einheit her (2 Me haben trigonal-prismatische Koordination). Die gesetzmässige Verwachsung des pseudo-hexagonalen Jordanits mit (010)/(111) von Zinkblende (NOWACKI-KUNZ-MARUMO 1964) findet damit eine natürliche Erklärung. – Jordanit wurde im Lengenbach auch in einer merkwürdigen, stengeligen Ausbildung gefunden (NOWACKI et al. 1964). – Nach (ROLAND 1968a) sollen Jordanit und *Gratonit* [(AsS₃)₄|S₃|Pb₉^{V+II}] ($\varphi = 3,75$) dieselbe chemische Zusammensetzung aufweisen; Gratonit wäre die Tieftemperatur- (< 250° C) und Jordanit die Hochtemperaturform von Pb₉As₄S₁₅. In der Tat wurde der Gratonit bis jetzt im Lengenbach nicht gefunden. Die vollständige Strukturbestimmung des Jordanits, welche erst die genaue chemische Zusammensetzung lieferte, steht noch aus.

4. *Lengenbachit* [Pb₃₇Ag₇Cu₆As₂₃S₇₈], triklin, Subzelle $a_0' = 35,10$, $b_0' = 5,755$, $c_0' = 36,92$, $\alpha_0' \approx 90^\circ$, $\beta_0' = 92^\circ 35'$, $\gamma_0' \approx 90^\circ$, $P1$ oder $P\bar{1}$, $\varphi = 3,4$, wahre Zelle $a_0 = 2a_0'$, $b_0 = 2b_0'$, $c_0 = c_0'$, d. h. sehr grosse Perioden (NOWACKI et al. 1963, -, KUNZ et al. 1964, MARUMO in NOWACKI 1967c, NOWACKI, BURRI et al. 1967, NOWACKI 1968a). Enge Verwandtschaft mit Bleiglanzstruktur ($a_0' = 6 \times a_0 \text{PbS}$). Ob Lengenbachit zur Gruppe I. c₁ gehört, ist noch unentschieden; sicher zu I. c ($3 < \varphi < 4$). – Lengenbachit kristallisiert in dünnen

Blättchen und Schindeln, die sehr oft gebogen sind, manchmal aber auch in strahligen Aggregaten. Er weist z. T. prächtige Anlauffarben auf.

Strukturtyp II. a_1

5. *Nowackiit* $[(AsS_3)_4|Cu^{IV}Zn^{IV}]$ rhomboedrisch, $a_0 = 13,44$, $c_0 = 9,17$, R_3 , $\varphi = 3$ (MARUMO et al. 1965, 1966, MARUMO 1967, NOWACKI 1966, 1967a). Diese ganz zufällig entdeckte neue Kristallart erwies sich als ein interessanter Vertreter des Zinkblendetypus mit Leerstellen (\square). Die Mikrosondenanalyse ergab die Formel $Cu_6Zn_3As_4S_{12-13}$. Schon die Pulveraufnahme zeigte, dass es sich um eine Überstruktur des Zinkblendetypus handeln muss. Bei Annahme der Gültigkeit der Grimm-Sommerfeldt-Regel für Tetraederstrukturen, der zu Folge der Quotient aus der Zahl der Valenzelektronen und der Zahl der Atome inklusive Löcher gleich vier sein muss, folgt eindeutig, dass die Formel 12 und nicht 13 S enthalten muss, denn nur dann wird $(6 \times 1 + 3 \times 2 + 4 \times 5 + 12 \times 6) / (6 + 3 + 4 + 12 + 1 \square) = 104/26 = 4$. Es ist 1 Leerstelle (\square) (1S fehlt auf einer dreizähligen Achse) in der rhomboedrischen Zelle mit der Formeleinheit $Cu_6Zn_3As_4S_{12}$ vorhanden. Die AsS_3 -Pyramiden sind isoliert, wie es bei $\varphi = 12/4 = 3$ sein muss, d.h. nicht über gemeinsame S-Atome miteinander verknüpft. – Sehr selten.

6. *Marrit* $[AsS_3|Ag^{IV}Pb^{VI}]$, monoklin, $a_0 = 7,2705$, $b_0 = 12,6319$, $c_0 = 5,9853$, $\beta_0 = 91^\circ 13,7'$, $P2_1/a$, $\varphi = 3$ (NOWACKI, KUNZ et al. 1964, WUENSCH et al. 1963, 1966, NOWACKI, BURRI et al. 1967). Polyederhaufwerk von AsS_3 -Pyramiden, AgS_{3+1} -«Tetraedern» [3 nächste S in beinahe ebener Koordination (2,47–2,68) (ähnlich wie bei Xanthokon oder Hatchit), dazu ein viertes S ungefähr normal zur Dreiecksebene (2,91)] und PbS_6 -«Oktaedern»; Überstruktur des PbS-Gitters. – Sehr selten (Fig. 3,4) (Nowacki, 1969c).

7. *Seligmannit* $[(AsS_3)_2|Cu^{IV}Pb^{VII}Pb^{VIII}]$, orthorhombisch, $a_0 = 8,081$, $b_0 = 8,747$, $c_0 = 7,636$, $Pmn2_1$, $\varphi = 3$ (LEINWEBER 1956, NOWACKI, BURRI et al. 1967, EDENHARTER, NOWACKI, TAKÉUCHI 1970). Neben isolierten AsS_3 -Pyramiden sind noch CuS_4 -Tetraeder, die zu-

sammen mit PbS_6 -Oktaedern die Struktur aufbauen, vorhanden. Für die eine Pb-Sorte ist die Koordinationszahl 7 und für die andere 8.

8. *Proustit* $[\text{AsS}_3|\text{Ag}_3^{\text{II}}]$, rhomboedrisch, $a_0 = 10,82$, $c_0 = 8,69$, R_3c , $\varphi = 3$ (ENGEL et al. 1966, MARUMO et al. 1966, NOWACKI, KUNZ et al. 1964). Die S-Atome bilden die Ecken einer Dreiecks-Spirale, während die Ag ziemlich genau in der Mitte der Dreiecksseite (etwas gegen innen verschoben) liegen (\sphericalangle S-Ag-S = $162^\circ 39'$). Es ist je ein System von links- und ein solches von rechtsgängigen Spiralen vorhanden. Die einzelnen Spiralen eines solchen Systems sind über die As-Atome untereinander zu einem Teilgitter verbunden. Die Struktur besteht aus diesen zwei ineinandergestellten Teilgittern, welche durch etwas längere (S-Ag)-Bindungen (2,88, 3,18) miteinander verbunden sind. Eines der roten Sulfosalze (AgI).

9. *Pyrrargyrit* $[\text{SbS}_3|\text{Ag}_3^{\text{II}}]$, strukturell gleich wie Proustit, $a_0 = 11,04$, $c_0 = 8,72$, R_3c (ENGEL et al. 1966, NOWACKI 1969b). Vgl. Bemerkung bei Stephanit. Ebenfalls von roter Farbe.

10. *Xanthokon* $[\text{AsS}_3|\text{Ag}_3^{\text{III}}]$, monoklin, $a_0 = 12,00$, $b_0 = 6,26$, $c_0 = 17,08$, C_2/c , $\varphi = 3$ (NOWACKI, KUNZ et al. 1964, NOWACKI, ENGEL et al. 1967, NOWACKI 1967a, ENGEL et al. 1968). Zweite Modifikation von Ag_3AsS_3 , gelb, instabil. Die Struktur besteht aus Doppelschichten// (001) (= Zwillingschicht; sehr häufig verzwillingt und blättrig ausgebildet) aus AsS_3 -Pyramiden, welche mit ihren As-Spitzen immer nach aussen weisen, welche über zwei Sorten der Ag-Atome miteinander verknüpft sind, während die dritte Sorte die Verbindung zwischen den Doppelschichten herstellt. Die beiden ersten Ag-Atome besitzen eine ebene (Ag-S = 2,45–2,60), während die dritten eine pyramidale Dreierkoordination (2,48–2,76) aufweisen. Ausserdem sind kurze (Ag-Ag)-Abstände (2,95, 3,07, 3,09) vorhanden.

Strukturtyp III. $a_{1,2}$

11. *Sinnerit* $[\text{Cu}_{1,4}\text{As}_{0,9}\text{S}_{2,1}]$, triklin, $a_0 = 5a_0' + 3b_0' = 21,7$, $b_0 = -5a_0' + b_0' = 19,0$, $c_0 = -5a_0' - b_0' + c_0' = 19,7$, $\alpha_0 = 27^\circ 10'$, $\beta_0 = 155^\circ 20'$, $\gamma_0 = 137^\circ 55'$; pseudotetragonale Subzelle: a_0'

$= 3,72$, $b_0' = 3,70$, $c_0' = 5,24$, $\varphi = 2,33$ (NOWACKI et al. 1964a, MARUMO et al. 1964, NOWACKI 1966, 1967a). Die Symmetrie der starken Reflexe entsprechen einer noch kleineren, pseudokubischen Subzelle mit $a_0'' = a_0' + b_0' = 5,25$, $b_0'' = -a_0' + b_0' = 5,25$, $c_0'' = c_0' = 5,24$, die beinahe mit derjenigen von Binnit und Luzonit identisch ist. Bis jetzt konnte Sinnerit nur als verzwilligter Kristall gefunden werden. Gehört zu III (ob a_1 , ist unbestimmt). – Benannt nach *Rudolf von Sinner*, ehemaliger Präsident des Naturhistorischen Museums Bern (1890–1960). – Sehr selten.

12. *Imhofit* [$Tl_6 Cu As_{15} S_{40}$] (BURRI et al. 1965, NOWACKI 1966, 1967a). $\varphi = 2,67$. Imhofit tritt als dünnblättriges, durchscheinendes kupferrotes Mineral, z. T. zu kugeligen «Klumpen» aggregiert, auf, das zuerst für Smithit gehalten wurde. Doch zeigten Pulverdiagramm und Mikrosondenanalyse [Tl 33,6, Cu 1,67, As 30,2, S 33,7, Σ 99,17%], dass es eine neue Mineralart ist, die zu Ehren von *Josef Imhof*, ehemals Strahler in Binn und Ried-Brig († 16. 6. 1969), der mit grosser Hingabe die Ausbeutung der Lengenschachgrube betreut, Imhofit genannt wurde. Neben dem Lorandit, $TlAsS_2$, ist es bis jetzt das einzige natürliche, reine (vom Cu abgesehen) Tl-As-Sulfosalz. Es ist monoklin: $P2_1$ oder $P2_1/m$, $a_0 = 8,77$, $b_0 = 24,51$, $c_0 = 11,44$, $\beta_0 = 107^\circ$. Wegen der extremen Kleinheit ($0,06 \times 0,03 \times 0,001$ mm!) war eine Dichte- und vollständige Kristallstrukturbestimmung bis jetzt leider nicht möglich (eine einzige Röntgenaufnahme dauerte 14 Tage). Für $d = 5,0$ gcm^{-3} ergeben sich folgende Atomzahlen pro Zelle: Tl 5,81, Cu 0,93, As 14,24 und S 37,14; somit $\varphi = 37,14/14,24 \approx 2,6$. – Selten.

13. *Rathit-I* [$As_4(As, Ag)S_{10}[(Pb, Tl)_{VI}(Pb, Tl)_2]^{IX}$], wahre Symmetrie wohl triklin-pseudomonoklin, $a_0 = 25,16$, $b_0 = 7,94$, $c_0 = 8,47$, $\beta_0 = 100^\circ 28'$, $P2_1/a$, $\varphi = 2,5$ (NOWACKI et al. 1963, NOWACKI, MARUMO et al. 1964, MARUMO et al. 1965, NOWACKI 1967a). Rathit-I, Rathit-II, Dufrénoysit und Baumhaerit gehören zusammen mit Skleroklas (IV. a_3) zu einer Gesamtheit einander ähnlicher Strukturen, was auch in der äusseren Morphologie in einem gewissen Grade zum Ausdruck kommt. Das *gemeinsame Bauprinzip* dieser Verbindungen besteht im Vorhandensein

einer ersten (Pb, S)-Grenzschicht A (PbS_4) mit Pb in Neunerkoordination, gefolgt von einer dicken (Pb, As, S)-Schicht C wechselnder Zusammensetzung, aber prinzipiell gleichen Aufbaues oder/und einer dünnen Schicht B (vgl. unten). Die Abmessungen sind derart, dass stets die Perioden $7,9 \times n.4,2 \text{ \AA}$ resultieren.

Bei Rathit-I sind die Pb der zweiten Schicht (Pb_2AgAs_9) $[(100)]$; = deformierte PbS-Struktur] in Siebenerkoordination; die As- und S-Atome bilden endliche Komplexe As_3S_7 und As_4S_9 . Ein As ist statistisch über zwei Punktlagen verteilt; auf der einen ist es durch Ag mit der Koordinationszahl 6 ersetzt (vgl. Baumhauerit!). Die Mikrosondenanalysen (NOWACKI et al. 1963 a, b) haben die Anwesenheit von ziemlich viel Thallium in den Lengenbach-Sulfosalzen ans Licht gebracht. Dieses ersetzt das Blei, eventuell auch Silber.

14. *Rathit-II* [$\text{As}_2\text{S}_6 | \text{Pb}_{6,5}^{\text{VII}} \text{Pb}_{12}^{\text{IX}}$], monoklin, $a_0 = 8,43$, $b_0 = 70,9$, $c_0 = 7,91$, $\beta_0 = 90^\circ$, P_{21} , $\varphi = 2,2_4$ (LE BIHAN 1961 a, b, 1962, NOWACKI 1967 a, ENGEL, NOWACKI 1970). Im Lengenbach sehr häufig. Strukturell prinzipiell ähnlich wie Baumhauerit-I (vgl. unten). Rathit-II und Liveingit haben sich als identisch erwiesen (NOWACKI 1968 a). Da der Name «Rathit» sich bereits eingebürgert hat, muss er wohl beibehalten werden, obgleich es sich um eine ganz andere Spezies (von verschiedener chemischer Zusammensetzung) handelt. Liveingit wäre eigentlich vorzuziehen.

15. *Dufrénoysit* [$\text{As}_8\text{S}_{19} | \text{S} | \text{Pb}^{\text{VI}+} \text{IPb}_3^{\text{VII}} \text{Pb}_4^{\text{IX}}$], monoklin, $a_0 = 7,90$, $b_0 = 25,74$, $c_0 = 8,37$, $\beta_0 = 90^\circ 21'$, P_{21} , $\varphi = 2,5$ (Strukturtyp III.a₂) (NOWACKI et al. 1963, NOWACKI, KUNZ et al. 1964, NOWACKI, MARUMO et al. 1964, MARUMO et al. 1966, 1967 b, NOWACKI, BURRI et al. 1967, RIBAR et al. 1969) (Fig. 5, 6). Die zweite Schicht (Pb_4As_8), eine deformierte PbS-Struktur bildend, enthält Pb in $(6 + 1)$ -er Koordination sowie endliche Baugruppen As_4S_9 und As_3S_7 neben einer isolierten AsS_3 -Pyramide (daher III.a₂!). Bei einem Dufrénoysitkristall wurden diffuse Reflexe $// b^*$ beobachtet. Eine Mikrosondenanalyse ergab, dass der Kristall aus Blöcken verschiedener Zusammensetzung besteht, kleine ohne Tl und grosse mit 4% Tl. Nimmt man an, dass das *zweite* Schichtpaket abwechslungsweise aus Rathit-I und Dufrénoysit-Teilschicht-



Fig. 1 (NO). Jordanit, 8mal (Photo C. Nicca†).

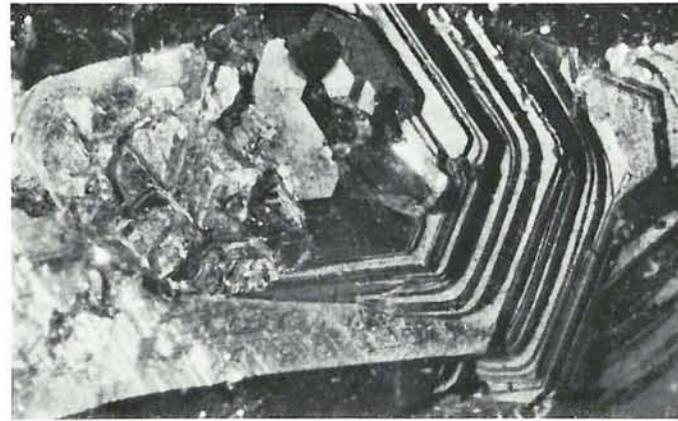


Fig. 2 (NO). Jordanit, 10mal (Photo M. Meier).



Fig. 3 (NO). Marrit (links), rechts Pyrit mit aufgewachsenem Proustit (Stufe A 3348, Naturhist. Museum Bern; Photo H. A. Stalder), 8mal.



Fig. 4 (NO). Marrit (rechts), 8mal (Photo R. Breu).



Fig. 5 (NO). Dufrénoysit (tafelig), 10mal (Photo Y. Bärtschi und M. Meier).

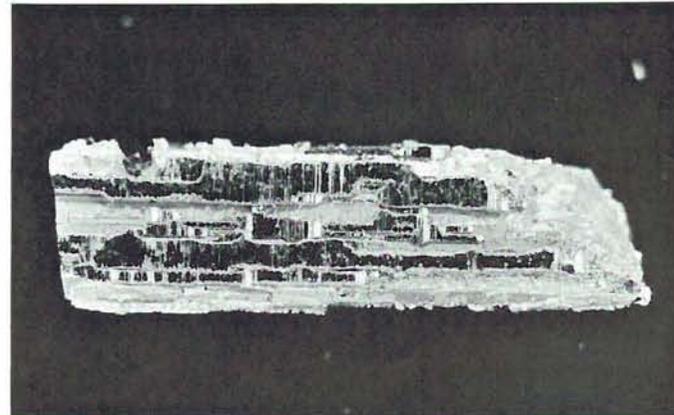


Fig. 6 (NO). Dufrénoysit, 10mal (Photo J. Müller-Brockmann, Zürich).



Fig. 7 (NO). Baumhauerit, 10mal (Photo Y. Bärtschi und M. Meier).



Fig. 8 (NO). Baumhauerit (schmal) und Skleroklas (breit), 9mal (Photo R. Brey).

paketen bestünde, so hätte man damit eine plausible Erklärung der beobachteten diffusen Reflexe gefunden, vorausgesetzt dass im Rathit-I das Tl das Ag ersetzte (vgl. oben).

16. *Faseriges Sulfosalz* («Sollyit»). Diese feinsten Nadeln erwiesen sich als strukturell inhomogen, bestehend aus den drei Komponenten: Dufrénoysit (monoklin) in zwei verschiedenen Orientierungen und einer orthorhombischen Phase. Es ist daher nicht gestattet, von einer eigenen Mineralart («Sollyit») zu sprechen (NOWACKI et al. 1960, 1961).

17. *Baumbauerit-I* [$\text{As}_4\text{S}_9\text{Pb}^{\text{VI}}\text{Pb}_2^{\text{IX}}$], triklin, $a_0 = 22,80$, $b_0 = 8,36$, $c_0 = 7,89$, $\alpha_0 = 90^\circ 03'$, $\beta_0 = 97^\circ 16'$, $\gamma_0 = 89^\circ 55'$, $P\bar{1}$ (azentrisch), $\varphi = 2,25$ (NOWACKI et al. 1963, NOWACKI, BURRI et al. 1967, ENGEL et al. 1969). Die zweite dicke Schicht weist wieder Pb in 7-er Koordination, neben endlichen Baugruppen $\text{As}_{3+x}\text{S}_y$, As_5S_{11} , As_4S_9 und As_3S_7 auf. Ein As besetzt zwei Punktlagen statistisch; ein anderes ist z.T. durch Ag ersetzt (genaue Formel = $\text{Pb}_{11,6}\text{Ag}_{0,6}\text{As}_{15,7}\text{S}_{36}$). Diese kristallchemischen Eigentümlichkeiten scheinen für die Pb-As-Sulfosalze charakteristisch zu sein (vgl. Dufrénoysit). Eine weitere dünne Zwischenschicht (PbAs_7) entspricht der Zwischenschicht in Skleroklas (Fig. 7, 8) (NOWACKI 1969 c).

18. *Hatchit* [$\text{As}_2\text{S}_5\text{Tl}^{\text{II}}\text{Ag}^{\text{IV}}\text{Pb}^{\text{VIII}}$], triklin, $a_0' = 9,37$, $b_0' = 7,84$, $c_0' = 8,06$, $\alpha_0' = 66^\circ 25'$, $\beta_0' = 63^\circ 20'$, $\gamma_0' = 84^\circ 58'$, $P\bar{1}$, $\varphi = 2,5$ (NOWACKI et al. 1961, NOWACKI, BURRI et al. 1967, NOWACKI 1965, MARUMO et al. 1966, 1967a, NOWACKI 1968a). Die $'$ -Zelle ist der Morphologie angemessen (flach-tafelige Kristalle mit guter Zonenausbildung). Die Struktur besteht aus $\text{AgAs}_4\text{S}_{10}$ -Doppelketten, welche durch die Pb- und Tl-Atome in 8-er bzw. 2-er Koordination zusammengehalten werden. Die Zusammensetzung der Ketten ($//$ Zone) ergibt sich aus AgS_6 -Doppeltetraedern (mit gemeinsamer Kante), welche durch As_2S_5 -Gruppen miteinander verknüpft sind.

19. *Wallisit* [$\text{As}_2\text{S}_5\text{Tl}^{\text{II}}\text{Cu}^{\text{IV}}\text{Pb}^{\text{VIII}}$], triklin, $a_0'' = 9,215$, $b_0'' = 8,524$, $c_0'' = 7,980$, $\alpha_0'' = 55^\circ 59'$, $\beta_0'' = 62^\circ 30'$, $\gamma_0'' = 69^\circ 24'$, $P\bar{1}$, $\varphi = 2,5$ (NOWACKI 1965, 1966, 1967a, NOWACKI, BURRI et al. 1967, NOWACKI, ENGEL et al. 1967, TAKÉUCHI et al. 1968). Walli-

sit ist das Cu-Analogon zu Hatchit; beide weisen dieselbe Struktur auf (Isotypie), das einmal mit Ag, das andere Mal mit Cu. Rein röntgenographisch lassen sich Pb und Tl übrigens nicht unterscheiden; die Zuweisung geschah auf Grund der sich ergebenden Koordinationszahlen. – Sehr selten.

Strukturtyp IV. a₁

20. *Trechmannit* [AsS₂|Ag^{IV}], rhomboedrisch, a₀ = 13,98, c₀ = 9,12, R₃⁻, φ = 2 (NOWACKI et al. 1961, 1963, NOWACKI, ENGEL et al. 1967, MATSUMOTO et al. 1968). Rotes Sulfosalz (tief dunkelrot, dôle-rot). Wegen φ = 2 sind Ringe oder Ketten zu erwarten. Beim Trechmannit liegt ein *Dreiering* As₃S₆ vor. Diese Ringe werden durch Ag in 4-er Koordination zusammengehalten. – Sehr selten. – Trechmannit konnte auch synthetisch hergestellt werden (ROLAND 1968b).

21. *Smithit* [AsS₂|Ag^{IV}], monoklin, a₀ = 17,23, b₀ = 7,78, c₀ = 15,19, β₀ = 101° 12', A₂/a, φ = 2 (NOWACKI et al. 1963, HELLNER et al. 1964). Eine zweite Modifikation von AgAsS₂; blättrigspaltbar, karmin bis hellviolett. Ebenfalls Vorliegen eines Dreieringes, aber ganz anderer Gestalt als bei Trechmannit.

Strukturtyp IV. a₃

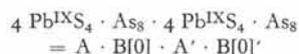
22. *Lorandit* [AsS₂|Tl^{II+I}], monoklin, a₀ = 12,239, b₀ = 11,338, c₀ = 6,144, β₀ = 104° 36', P₂₁/a, φ = 2 (ZEMANN et al. 1959, KNOWLES 1965). Beispiel einer *Kettenstruktur* AsS₂/₂S = AsS₂. Ketten durch Tl^{II+I} zusammengehalten (rotes Sulfosalz).

23. *Skleroklas* [As₂S₄|Pb^{IX}], Pseudostruktur monoklin, a₀' = 19,62, b₀' = 7,89, c₀' = 4,19, β₀' = 90°, P₂₁/n, φ = 2 (NOWACKI et al. 1960, 1961, IITAKA et al. 1961). Skleroklas (= Sartorit) ist das im Lengenbach häufigste und chemisch einfachste Sulfosalz (Fig. 8); seine Struktur hingegen ist äusserst komplex. In der Pseudo-(= Näherungs-)Struktur sind, wie bei Rathit-I, Dufrénoy-sit und Baumhauerit erwähnt, verschiedene Schichten vorhanden: hier die eine mit Pb in 9er-Koordination (Grenzschicht), die an-

dere dünne nur aus As (und S) bestehend. Bei Skleroklas sind nur Kettenbruchstücke, nicht unendlich lange Ketten vorhanden, so dass er streng genommen nicht zum Typus IV. a₃ gehört.

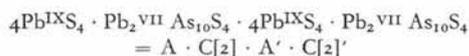
Auf Grund der genauen Strukturbestimmungen ist es jetzt möglich, eine *einheitliche Beschreibung und Symbolisierung* der folgenden Pb-As-Sulfosalze zu geben:

Skleroklas:



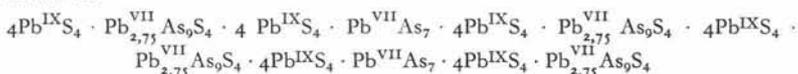
mit A = Grenzschicht Pb^{IX}S₄ mit Pb in 6er-Koordination, B[0] = dünne Zwischenschicht mit 0 Pb-Atomen, der Dicke a'/2 = 9,81 Å. A' bzw. B' geht aus A bzw. B durch ein Symmetriezentrum $\bar{1}$ (oder eine Gleitspiegelebene n) hervor.

Ratbit-I:



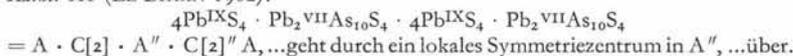
mit A, A' wie oben, C[2] = dicke Zwischenschicht mit 2 Pb-Atomen in 7er-Koordination, der Dicke 1/2 a sin β = 12,37 Å.

Ratbit-II:



= A · C[2,75] · A* · B[1] · A** · C[2,75]* · A · C[2,75] · A* · B[1] · A** · C[2,75]*
mit A, C[2,75] wie oben, B[1] = dünne Zwischenschicht mit 1 Pb-Atom. A, A*, A**, ... gehen durch keine Symmetrieelemente der Kristallstruktur auseinander hervor; A, ... geht durch eine zweizählige Schraubenachse \perp zur Schicht in \bar{A} , ... über.

Ratbit-III (LE BIHAN 1962):

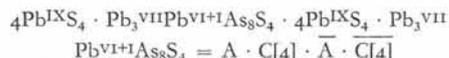


Baumbauerit-I:



mit A, A* wie oben, C[2,6] = prinzipiell gleiche Schicht wie oben, aber mit 2,6 Pb-Atomen (Dicke = 13,10 Å); B[1] = dünne Zwischenschicht mit 1 Pb-Atom (Dicke 9,52 Å), somit prinzipiell gleich wie bei Skleroklas (9,81 Å dick).

Dufrénysit:



mit A, $\bar{\text{A}}$ wie oben, C[4] = dicke Zwischenschicht mit 4 Pb-Atomen (Dicke = b/2 = 12,87 Å), 3 mit Koordinationszahl VII und eines mit VI + I.

Qualitativ lassen sich alle diese Verbindungen schreiben als Schichtfolgen:



mit q₁, q₂, ..., r, s = 0, 1, 2, ... (Engel-Nowacki 1970), wobei zu beachten ist, daß die S-Atome der PbS₄-Grenzschichten alle in den As_nS_{2n+1}-Kettenstücken enthalten sind.

Tabelle 2. Strukturelle Klassifikation der Sulfosalze

Klassifikation		Beschreibung des B-S-Verbandes	Beispiele
		P = BS ₃ -Pyramiden T = BS ₄ -Tetraeder + = mit zusätzlichen S	
I. a ₁	$\varphi > 4$	Isolierte oder verknüpfte P ⁺	-
a ₂		Isolierte oder verknüpfte T ⁺	-
I. b ₁	$\varphi = 4$	Isolierte oder verknüpfte P ⁺	Stephanit
b ₂		Isolierte T	Enargit, Luzonit
b ₃		Verknüpfte T ⁺	-
I. c ₁	$3 < \varphi < 4$	Isolierte oder verknüpfte P ⁺	Isolierte P ⁺ : Binnit, Grattonit, Jordanit, Meneghin, Tetracdril
c ₂		Verknüpfte T (evtl. +)	-
II. a ₁	$\varphi = 3$	Isolierte P	Bournonit, Freieslebenit, Marrit, Nowackit, Proustit, Pyrargyrit, Pyrostilpnit, Seligmannit, Xanthokon Aikinit (Ohmasa et al. 1970)
a ₂		Verknüpfte P ⁺	-
a ₃		Verknüpfte T (evtl. +)	-
III. a ₁	$2 < \varphi < 3$	Zu endlichen Gruppen verknüpfte P (evtl. +)	Baumhauerit, Hatchit, Jamesonit, Rathit-I, Wallisit
a ₂		Zu endlichen Gruppen verknüpfte P, neben isolierten P (evtl. +)	Dufrénoysit
a ₃		Zu endlichen Ketten oder Spiralen (oder Ringen) verknüpfte P (evtl. +)	Cosalit
a ₄		Zu endlichen Gruppen verknüpfte T (evtl. +)	-
IV. a ₁	$\varphi = 2$	Zu Ringen verknüpfte P	Zweiering: Livingstonit Dreiering: Smithit, Trechmannit
a ₂		Zu endlichen Gruppen verknüpfte P (evtl. +)	-
a ₃		Zu unendlichen Ketten oder Spiralen BS ₂ verknüpfte P	Berthierit, Emplektit, Livingstonit, Lorandit, Miargyrit, Skleroklas, Wolfsbergit
a ₄		Zu unendlichen Ketten oder Spiralen verknüpfte P ⁺ (B _γ S ₂)	Galenobismuthin
a ₅		Verknüpfte T	-
V. a ₁	$1 < \varphi < 2$	Zu endlichen Gruppen verknüpfte P (evtl. +)	-
a ₂		Zu endlichen Netzen verknüpfte P (evtl. +)	Auripigment, Hutchinsonit
VI. a ₁	$\varphi = 1$	(B-Me)-, (B-B)-Bindungen vorhanden. Wenn -S _γ -, so BS _{3/3} -Verbindungen möglich	Galenobismuthin

Strukturtyp V. a₃

24. *Hutchinsonit* [As₅S₉(Tl, Pb)^{II+V}(Pb, Tl)^{VII}], orthorhombisch, a₀ = 10,81, b₀ = 35,36, c₀ = 8,16, Pbca, φ = 1,8 (NOWACKI et al. 1963, TAKÉUCHI et al. 1964, 1965, NOWACKI, BURRI et al. 1967). Die chemischen Analysen ergaben, dass Ag und Cu unwesentliche Bestandteile darstellen. Wegen φ = 9/5 = 1,8 muss eine Verknüpfung von Ketten oder Ringen zu einem Netz vorliegen. Die Struktur besteht denn auch aus zwei Arten von Schichtpaketen // (010): in dem einen (A) befinden sich //c As₄S₈-Spiralen, welche seitlich über As(III)S₃-Pyramiden zu einer komplexen Schicht zusammengehalten werden. An den As(III) «hängen» ausserdem noch As₂S₃-Gruppen. Das andere (B) wird von (Tl,Pb)-Atomen in 7er-Koordination, welche einen Anklang an eine einzige, deformierte Würfelzelle (PbS) zeigen, gebildet.

Strukturtyp VI

25. *Arsen kies* [As^{IV}S|Fe^{VI}], monoklin, a₀ = 9,51, b₀ = 5,65, c₀ = 6,42, β₀ = 90° 00', B₂₁/d, φ = 1 (BUERGER, 1936). Die Struktur ist eine Überstruktur des Markasites (FeS₂, orthorhombisch). Fe ist deformiert-oktaedrisch von 3 As + 3 S (mit Fe-As = 2,32, 2,37 und Fe-S = 2,23, 2,27), jedes As tetraedrisch von 3 Fe + 1 S und jedes S tetraedrisch von 3 Fe + 1 As umgeben. Es liegen hier also im Gegensatz zu allen bisherigen Verbindungen (Metall-As)-Bindungen vor.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über mittlere Atomabstände Me-S und As, Sb, Bi-S, Koordinationszahlen, Radiensummen und mittlere Bindungswinkel S-As, Sb, Bi-S sämtlicher Sulfosalze. Die Bindung Me-S ist meistens stark kovalent, ausser bei Pb und Tl, bei denen auch die Summe der Ionenradien den beobachteten Abständen entspricht.

Die Kristallstrukturbestimmungen an den As-Sulfosalzen des Lengenbachs haben also stark mit dazu beigetragen, eine *strukturelle Klassifikation aller Sulfosalze* überhaupt zu begründen, die zukünft-

tig verfeinert und eventuell erweitert werden muss. In Tabelle 4 sind die Strukturformeln einiger Sulfosalze vereinigt.

Über das Vorkommen, die Morphologie, optische und andere Eigenschaften vergleiche man die Publikationen (BADER 1934, GRAESER 1965, NICKEL 1960, NICKEL et al. 1960, SCHALLER 1961, SCHALLER et al. 1963, NOWACKI 1958, 1960a,c, 1963a, 1969c).

Tabelle 3. Mittlere Atomabstände, Koordinationen und mittlere Bindungswinkel in Sulfosalzen

1. Mittlere Atomabstände Me-S: Koordinationen und Radiensummen

Me	Me-S	KZ	$R_{Me} + R_S$
Ag	2,45	2	2,38(R_1), 2,71(R_{12})
	2,55 ₄	3	
	2,64 ₄	4	
As	2,31	3	2,25(R_1), 2,75(R_{12})
	2,24 ₅	4	
	2,31	4(1S + 3Me)	
Bi	2,71	3	2,55(R_1), 3,05(R_{12})
Co	2,31	6	2,20(R_1), 2,52(R_{12})
Cu	2,28	3	2,22(R_1), 2,55(R_{12})
	2,34	4	2,39(T)
Fe	2,54 (III, IV)	6	2,21(R_1), 2,53(R_{12})
	2,24 (VI)	6	
Hg	3,03	6	2,84(T), 2,86(G), 2,94(P)
Ni	2,34	6	2,19(R_1), 2,51(R_{12})
Pb	2,95	6	2,97(R_{12})
	3,04 ₅	7	
	3,12 2,4%	8	
	3,18 2%	9	
	[2,986 PbS]	6	
Sb	2,55	3	2,43(R_1), 2,93(R_{12})
	2,49	4	
Tl	3,02 ₅	2	3,23(G), 3,28(P)
	[3,07 ₅ Hat., Wall.]	2	
	[3,13 ₅ Hut., (Pb, Tl)]	2	
Zn, Cu	2,329	4	2,35(Zn, T), 2,39(Cu, T)

[R_1 = Einfachbindungsradius, R_{12} = Metallradius, T = Tetraederradius, G = Ionenradien nach V. M. Goldschmidt, P nach L. Pauling]

2. Mittlere Bindungswinkel S-Me-S

Me	KZ	Winkel (exp.)	(theor.)
Ag	2	164,07 ₅ ^o	
	3	120,6	120 ^o
	4	107,9	109,47
As	3	97,6	
	4	104,4	109,47
Bi	3	94,2 ₅	
Co	6	?	90
Cu	3	120,0	120
	4	109,4 ₃	109,47
Fe	6	89,2	90
		173,5 ₉	180
Hg	6	90,0	90
Ni	6	98,4 ₁	90
Pb	6	90,0	90
Sb	3	92,5 ₃	
	4	?	109,47
Tl	2	(83,0 ₆)	
Zn, Cu	4	109,3 ₇	109,47

Wir danken allen unseren Mitarbeitern, welche auf diesem Gebiete tätig gewesen sind, für ihre ausgezeichnete Hilfe und Herrn J. Müller-Brockmann (Zürich) für die Möglichkeit der Veröffentlichung seiner Dufrenoyisit-Aufnahme bestens; ferner dem Schweizerischen Nationalfonds (Projekt Nr. 3508), der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekte Nr. 384/386) sowie der Stiftung Entwicklungsfonds Seltene Metalle für grosszügige Unterstützung.

Adresse des Verfassers: Prof. Werner Nowacki, Abt. für Kristallographie und Strukturlehre, Universität Bern, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

Tabelle 4. Strukturformeln einiger Sulfosalze

Struktur- Name typ	Strukturformel	Struktur- Name typ	Strukturformel
I. b ₁ Stephanit	[SbS ₃ S Ag ^{III}]	Baumhauerit	[As ₄ S ₉ Pb ^{VII} Pb ₂ ^{IX}]
I. b ₂ Enargit	[As ^{IV} S ₄ Cu ₃ ^{IV}]	III. a ₂ Dufrenoyisit	[As ₈ S ₁₉ S Pb ^{VI+I} Pb ₃ ^{VII} Pb ₄ ^{IX}]
Luzonit	[As ^{IV} S ₄ Cu ₃ ^{IV}]	III. a ₃ Cosalit	[Bi ₄ S ₅ S ₂ Pb ₂ ^{VII} Pb ^{VIII}]
I. c ₁ Binnit	[(AsS ₃) ₄ S Cu ₆ ^{III} Cu ₅ ^{IV}]	IV. a ₁ Smithit	[S ₂ AsAg ^{IV}]
Tetraedrit	[(SbS ₃) ₄ S Cu ₆ ^{III} Cu ₅ ^{IV}]	Trechmannit	[AsS ₂ Ag ^{IV}]
Gratonit	[(AsS ₃) ₄ S ₃ Pb ₉ ^{V+II}]	Livingstonit	[Sb ₄ S ₈ Hg ^{II+IV}]
II. a ₁ Proustit	[AsS ₃ Ag ₃ ^{II}]	IV. a ₃ Skleroklas	[As ₂ S ₄ Pb ^{IX}]
Xanthokon	[AsS ₃ Ag ₃ ^{III}]	Miargyrit	[(SbS ₂) ₂ Ag ^{II+I} Ag ^{III+I}]
Pyrrargyrit	[SbS ₃ Ag ₃ ^{II}]	Lorandit	[AsS ₂ Tl ^{II+I}]
Pyrostilpnit	[SbS ₃ Ag ^{II} Ag ^{III} Ag ^{II+II}]	Wolfsbergit	[SbS ₂ Cu ^{IV}]
Marrit	[AsS ₃ Ag ^{IV} Pb ^{VI}]	Emplektit	[BiS ₂ Cu ^{IV}]
Seligmannit	[(AsS ₃) ₂ Cu ₂ ^I Pb ^{VII} Pb ^{VIII}]	Berthierit	[Sb ₂ S ₄ Fe ^{VI}]
Bournonit	[(SbS ₃) ₂ Cu ₂ ^I Pb ^{VII} Pb ^{VIII}]	Galenobismuthin	[BiS ₂ (BiS ₂) ₂ BiS ₂ S ₂ Pb ₂ ^{VII}]
Nowackiit	[(AsS ₃) ₄ Cu ₆ ^{IV} Zn ₃ ^{IV}]	IV. a ₄ Hutchinsonit	[As ₅ S ₉ (Tl, Pb) ^{II+V} (Pb, Tl) ^{VIII}]
II. a ₂ Aikinit	[BiS ₂ S Cu ^I V Pb ^{VII}] (Ohmasa et al. 1970)	V. Lautit	[As ^{IV} S Cu ^{IV}]
III. a ₁ Rathit-I	[As ₄ (As, Ag)S ₁₀ (Pb, Tl) ^{VII} (Pb, Tl) ₂ ^{IX}]	VI. Arsenkies	[As ^{IV} S Fe ^{VI}]
Rathit-II	[As ₂₅ S ₅₆ Pb _{6,5} ^{VII} Pb ₁₂ ^{IX}]	Gudmundit	[Sb ^{IV} S Fe ^{VI}]
Hatchit	[As ₂ S ₃ Tl ^{II} Ag ^{IV} Pb ^{VIII}]	Cobaltin	[As ^{IV} S Co ^{VI}]
Wallisit	[As ₂ S ₃ Tl ^{II} Cu ^{IV} Pb ^{VIII}]	Gersdorffit	[As ^{IV} S Ni ^{VI}]
Jamesonit	[Sb ₆ S ₁₄ Fe ^{VI} Pb ₂ ^{VII} Pb ₂ ^{VIII}]	Ullmannit	[Sb ^{IV} S Ni ^{VI}]

9. Literaturverzeichnis

SMPM = Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

1. ZUSAMMENFASSENDE WERKE ÜBER DIE MINERALVORKOMMEN IM LENGENBACH (BZW. IM GANZEN BINNATAL)

- BADER, H. (1934) – Beitrag zur Kenntnis der Gesteine und Minerallagerstätten des Binnatales. SMPM 14, 319–441.
DESBUISSONS, L. (1909) – La vallée de Binn. G. Bridel, Lausanne.
GRAESER, S. (1965) – Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnatales. SMPM 45, 597–795.
NICKEL, E. und SCHALLER, I. (1960) – Die Mineralparagenese des Lengenbachs im Binnatal. (Mit sehr ausführlichem Literaturverzeichnis!) Bull. Soc. Fribourg Sc. nat. 50.
NIGGLI, P., KÖNIGSBERGER, J. und PARKER, R.L. (1940) – Die Mineralien der Schweizeralpen. Verlag Wepf & Co., Basel, und PARKER, R.L. (1953) – Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. Verlag Wepf & Co., Basel.

2. WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, DIE SICH MIT DER FUNDSTELLE LENGENBACH ODER SEINEN MINERALIEN BEFASSEN. 1958–1969

- (Zugleich Literaturverzeichnis zu W. Nowacki – Kristallchemie der Sulfosalze aus dem Lengenbach [S. 63].)
- BADER, H. (1934) – Beitrag zur Kenntnis der Gesteine und Minerallagerstätten des Binnatales. SMPM 14, 319–441.
BERRY, L.G. and THOMPSON, R.M. (1962) – X-ray powder data for ore minerals: The Peacock Atlas. Geol. Soc. Amer. Min. 85.
BERRY, L.G. (1965) – Recent advances in sulfide mineralogy. Amer. Mineral. 50, 301–313.
– (1966) – Crystallography of hatchite. Canad. Min. 8, 661.
BUERGER, M.J. (1936) – The symmetry and crystal structure of the minerals of the arsenopyrite group. Z. Krist. 95, 83–113.
BÜRKI, H. (1967) – Röntgenographische und neutronographische Konstitutionsermittlung anorganischer und organischer Verbindungen. Chimia 21, 247–260.
BURRI, G., GRAESER, S., MARUMO, F. und NOWACKI, W. (1965) – Imhofit, ein neues Thallium-Arsensulfosalz aus dem Lengenbach (Binnatal, Kanton Wallis). Chimia 19, 499–500.
EDENHARTER, A., NOWACKI, W. und TAKÉUCHI, Y. (1970) – Verfeinerung der Kristallstruktur von Bournonit und Seligmannit. Z. Krist.
ENGEL, P. und NOWACKI, W. (1966) – Die Verfeinerung der Kristallstruktur von Proustit, Ag_2AsS_3 , und Pyrargyrit, Ag_3SbS_3 . N. Jb. Min. Mh. S. 181–184.
ENGEL, P. und NOWACKI, W. (1968) – Die Kristallstruktur von Xanthokon, Ag_3AsS_3 . Acta Cryst. B24, 77–81.
– (1969) – Die Kristallstruktur von Baumhauerit. Z. Krist. 129, 178–202.
– (1970) – Die Kristallstruktur von Rathit-II $[\text{As}_{25}\text{S}_{56}|\text{Pb}_{6,5}^{\text{VI}}\text{Pb}_{12}^{\text{IX}}]$. Z. Krist.

- FLEISCHER, M. (1966) – Index of new mineral names, discredited minerals, and changes of mineralogical nomenclature in volumes 1–50 of the American Mineralogist. Amer. Min. *51*, 1247–1357.
- GRAESER, S. (1963) – Giessenit – ein neues Pb-Bi-Sulfosalz aus dem Dolomit des Binnatales. SMPM *43*, 471–478.
- (1964) – Über Funde der neuen rhomboedrischen MoS₂-Modifikation (Molybdänit-3R) und von Tungstenit in den Alpen. SMPM *44*, 121–128.
- (1965) – Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnatales. SMPM *45*, 597–795.
- (1967) – Ein Vorkommen von Lorandit (TlAsS₂) in der Schweiz. Contr. Min. Petr. *16*, 45–50.
- (1968) – Lead isotopes and minor elements in galenas and sulphosalts from Binnatal. Earth and Planet Sci. Letters *4*, 384–392.
- (1969) – Minor elements in sphalerites and galenas from Binnatal. Contr. Mineral. and Petrol. *2*, 156–163.
- GRAESER, S. und STALDER, H. A. (1964) – Tätigkeitsbericht der «Bernischen Arbeitsgemeinschaft Lenggenbach». Mitt. der Naturforsch. Ges. in Bern N.F. *21*, XLVII bis LII.
- HELLNER, E. und BURZLAFF, H. (1964) – Die Struktur des Smithits AgAsS₂. Naturwiss. *51*, 35–36.
- HOEFS, J. und GRAESER, S. (1968) – Schwefelisotopenuntersuchungen an Sulfiden und Sulfosalzen des Binnatales. Contr. Mineral. and Petrol. *17*, 165–173.
- HÜGI, TH., NIGGLI, E., NOWACKI, W. und STALDER, H. A. (1962) – Bericht über die Exkursion der Schweiz. Mineralogischen und Petrographischen Gesellschaft über den Grimselpass und ins Binnatal (Aarmassiv und penninische Decken). SMPM. *42*, 15–23.
- HUNZIKER, J. und BEARTH, P. (1969) – Rb-Sr Altersbestimmungen aus den Walliser Alpen. Eclogae Geol. Helv. *62*, im Druck.
- ITAKA, Y. und NOWACKI, W. (1961) – A refinement of the pseudo crystal structure of sclerochalc PbAs₂S₄. Acta Cryst. *14*, 1291–1292.
- JÄGER, E., NIGGLI, E. und WENK, E. (1967) – Rb-Sr Altersbestimmungen an Glimmern der Zentralalpen. Beitr. Geol. K. Schweiz, N.F. *134*, Liefg.
- JOOS, M. G. (1967) – Über die Herkunft der Lebendunserie. Eclogae Geol. Helv. *60*, S. 151–155.
- KNOWLES, CH. R. (1965) – A refinement of the structure of lorandite, TlAsS₂. Abstract, Paper, Amer. Crystall. Assoc., Gatlinburg, Tenn., 27 June–2 July 1965, p. 79.
- LE BIHAN, M.-TH. (1959) – Structure de sulfures de plomb et d'arsenic naturels. C. R. Acad. Sci. Paris *249*, 719–721 [C. A. *54*, 3091 d] [rathite].
- (1961a) – Contribution à l'étude structurale des sulfures d'arsenic et de plomb. Structure de la baumhauerite. Acta Cryst. *14*, 1210–1211.
- (1961b) – Structure de la rathite – II. Comparaison entre les différentes structures connues de sulfures d'arsenic et de plomb. Acta Cryst. *14*, 1211–1212 [et sartorite, «rathite I», rathite-III, baumhauerite].
- (1962) – Etude structurale de quelques sulfures de plomb et d'arsenic naturels du gisement de Binn. Bull. Soc. Franç. Min. Crist. *85*, 15–47 [baumhauerite, «rathite-I», rathite-II et rathite-III].
- LEINWEBER, G. (1956) – Strukturanalyse des Bournonits und Seligmannits mit Hilfe der Superpositions-Methoden. Z. Krist. *108*, 161–184.

- LÜTHY, H.-J. (1965) – Geologie der gotthardmassivischen Sedimentbedeckung und der penninischen Bündnerschiefer im Binnental, Rappental und Binnental (Oberwallis). Diss. Univ. Bern.
- MARUMO, F. (1967) – The crystal structure of nowackiite, $Cu_6Zn_3As_4S_{12}$. Z. Krist. 124, 352–368.
- MARUMO, F. and BURRI, G. (1965) – Nowackiite, a new copper zinc arsenosulfosalt from Lengenbach. *Chimia* 19, 500–501.
- MARUMO, F. and NOWACKI, W. (1964) – The crystal structure of lautite and of sinnerite, a new mineral from the Lengenbach Quarry. *SMPM* 44, 439–454.
- (1965) – The crystal structure of rathite-I. Z. Krist. 122, 433–456.
- MARUMO, F., NOWACKI, W. und ENGEL, P. (1966) – Kristallchemische Untersuchungen an Sulfosalzen. *SMPM* 46, 694–695 [Luzonit, Nowackiit, Proustit-Pyrargyrit, Dufrénoysit, Hatchit].
- MARUMO, F. and NOWACKI, W. (1967a) – The crystal structure of hatchite, $PbTlAgAs_2S_5$. Z. Krist. 125, 249–265 (Menzer-Festschrift).
- (1967b) – The crystal structure of dufrénoysite, $Pb_{16}As_{16}S_{40}$. Z. Krist. 124, 409–419.
- MATSUMOTO, T. and NOWACKI, W. (1969) – The crystal structure of trechmannite, $AgAsS_2$. Z. Krist. 129, 163–177.
- NICKEL, E. (1960, publ. 1962) – Die Mineralparagenese des Lengenbachs im Binnental. *Bull. Soc. Fribourg. Sci. Nat.* 50, 7–10.
- NICKEL, E. und SCHALLER, I. (1960, publ. 1962) – Die Lokalität Lengenbach. Historie und Bestandesaufnahme. *Bull. Soc. Fribourg. Sci. Nat.* 50, 11–206 [Dufrénoysit, Sartorit, Jordanit, Rathit, Liveingit, Baumhauerit, Seligmannit, Lengenbachit, Hatchit, Hutchinsonit, Trechmannit, Smithit, Proustit, Marrit, Sollyit und Tellit].
- NIGGLI, E. und NIGGLI, C. (1965) – Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen. *Ecl. Geol. Helv.* 58, 335–368.
- NIGGLI, E. (1967) – Exkursion Nr. 21: Brig–Gletsch–Furkapass–Andermatt–Oberalppass–Disentis. In: *Geologischer Führer der Schweiz*, 362–379, Wepf & Co. Basel.
- NOWACKI, W. (1958) – Mineralien im Binnental. *Berner Tagblatt*, Nr. 279, 11. Oktober.
- (1960a) – Neuerschliessung der Mineralfundstelle Lengenbach (Binnental, Kt. Wallis). *Mitt. Natf. Ges. Bern (N.F.)* 18, 35–43.
- (1960b) – Strukturelle Untersuchungen an Sulfosalzen vom Lengenbach, Binnental, Verh. Schweiz. Natf. Ges. Aarau S. 103–105 [Skleroklas, faseriges Sulfosalz, Vergleich mit Baumhauerit, Dufrénoysit, Jordanit, Rathit-I].
- (1960c) – Kristalle im Binnental. *Berner Tagblatt*, Nr. 353, 30. Dezember.
- (1961) – Probleme der modernen Kristallographie und Strukturlehre. *Chimia* 15, 411–420. [Skleroklas, Galenobismuthin].
- (1963a) – Die Wiedererschliessung der Minerallagerstätte Lengenbach (Binnental). *Uerner Mineralien-Freund* 1, H. 6, 115–119.
- (1963b) – Zur Kristallchemie der Sulfosalze, insbesondere aus dem Lengenbach (Binnental, Kt. Wallis). *Mitt. Natf. Ges. Bern (N.F.)* 21, XXI–XXII.
- (1964) – Zur Kristallchemie der Sulfosalze, insbesondere aus dem Lengenbach (Binnental, Kt. Wallis). *SMPM* 44, 459–484.
- (1965) – Über einige Mineralfunde aus dem Lengenbach (Binnental, Kt. Wallis). *Ecl. Geol. Helv.* 58, 403–406 [Hatchit, Wallisit].
- (1966) – Über vier neue Sulfosalze aus dem Lengenbach, Binnental. *Uerner Mineralien-Freund* 4, 18–19 [Imhofit, Nowackiit, Sinnerit, Wallisit].

- (1967a) - Über neue Mineralien aus dem Lengenbach. Jb. Nath. Museum Stadt Bern 1963-1965, 293-299 [Cerussit, Malachit, Apatit, Wulfenit, Hemimorphit, Prehnit, Skapolith, Bornit, Chalcopyrit, Markasit, rho. Molybdänit, Wurtzit-2H, Imhofit, Lorandit, Nowackiit, Rathit-I., -II, -III, -IV, Sinnerit, Wallisit, Xanthokon].
- (1967b) - Über die mögliche Identität von «Liveingit» mit Rathit-II. N. Jb. Min. Mh. S. 353-354.
- (1967c) - Überblick über einige Sulfid- und Arsensulfosalz-Kristallstrukturen. SMPM 47, 659-681.
- (1968a) - Über Hatchit, Lengenbachit und Vrbait. N. Jb. Min. Mh. S. 69-75.
- (1968b) - Zur Kristallchemie und Klassifikation der Sulfosalze. Hauptvortrag, 10. Diskusstagung der Sektion für Kristallkunde der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft Bern, 3.-5. Oktober 1968, Referate S. 6, und Z. Krist. 128 (1969) 427-428. Assoc. Crist. Ital., Parma, 17-19 ottobre 1968.
- (1969a) - Zur Klassifikation und Kristallchemie der Sulfosalze. SMPM. 49, 109-156. Auszug in Acta Cryst. (im Druck).
- (1969b) - Über Stephanit $[SbS_3]S[Ag_3^{III}]$ und Pyrargyrit $[SbS_3Ag_3^I]$ aus dem Lengenbach (Binnatal, Schweiz). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 49, 381-384.
- (1969c) - Über einige Mineralien der Grube Lengenbach (Binnatal). Urner Mineralien-Freund 7, 29-33, 58-63, ff. (mit vielen Abbildungen).
- (1969d) - Erleuterungen zur Grube Lengenbach (Binnatal). Exkursionsführer, Exk. Bz, Deutsche Mineralogische Gesellschaft, Bern, 13. 9. 1969.
- NOWACKI, W. und BAHEZRE, C. (1963a) - Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung einiger Sulfosalze aus dem Lengenbach (Binnatal, Kt. Wallis) mit Hilfe der elektronischen Mikrosonde. SMPM. 43, 407-411 [Baumhauerit, Dufrénoysit, Jordanit, Rathit-I, Skleroklas, Hatchit, Hutchinsonit, Lengenbachit, Smithit, Trechmannit].
- NOWACKI, W., BAHEZRE, C. and MARUMO, F. (1963b) - Investigations on sulphosalts from Binnatal (Ct. Wallis, Switzerland), Part. 7. Acta Cryst. 16, A111-A112 [Baumhauerit, Dufrénoysit, (\equiv Rathit-Ia), Skleroklas, Jordanit, Rathit-I, -II, Hatchit, Hutchinsonit, Lengenbachit, Smithit, Trechmannit].
- NOWACKI, W., BURRI, G., ENGEL, P. und MARUMO, F. (1967) - Über einige Mineralstufen aus dem Lengenbach (Binnatal) II. N. Jb. Min. Mh. S. 43-48 [Hutchinsonit, Hatchit, Wallisit, Dufrénoysit, Enargit, Marrit; Lengenbachit, Binnit, Seligmannit, Jordanit, Baumhauerit].
- NOWACKI, W., ENGEL, P., MATSUMOTO, T., OHMASA, M., RIBAR, B. und TAKÉUCHI, Y. (1967) - Die Kristallstruktur von Gratonit, $Pb_0As_4S_{15}$, Xanthokon, Ag_3AsS_3 , Trechmannit, $AgAsS_2$, und Wallisit $PbTiCuAs_2S_5$. SMPM. 47, 1138-1139.
- NOWACKI, W., IITAKA, Y., BÜRKI, H. and KUNZ, V. (1960) - Structural investigations on sulfosalts from the Lengenbach, Binn Valley (Ct. Wallis). Acta Cryst. 13, 1006-1007 [Skleroklas, faseriges Sulfosalz, Lengenbachit, Hatchit, Trechmannit, Baumhauerit, Rathit-I, Dufrénoysit, Jordanit].
- (1961) - Structural investigations on sulfosalts from the Lengenbach, Binn Valley (Ct. Wallis). Part 2. SMPM 41, 103-116 [Skleroklas, faseriges Sulfosalz, Lengenbachit, Hatchit, Trechmannit, Baumhauerit, Rathit-I, Dufrénoysit, Jordanit].
- NOWACKI, W., und KUNZ, V. (1959) - Untersuchungen an Sulfosalzen. 1. Pulverdiagramme einiger Sulfosalze aus dem Lengenbach (Binnatal). Chimia 13, 294-297 [Jordanit, Lengenbachit, Dufrénoysit, Rathit, Baumhauerit, Skleroklas, «Sollyit», Binnit, Auripigment].

- (1961) - Gitterkonstanten und Raumgruppe von Hatchit und Trechmannit. N. Jb. Min. Mh. S. 94-95.
- NOWACKI, W., KUNZ, V. und MARUMO, F. (1964) - Über einige Mineralstufen aus dem Lengenbach (Binnental). SMPM 44, 129-132 [Wurtzit (2H), Proustit, Xanthokon, Jordanit, Zinkblende, Dufrénoysit, Lengenbachit, Marrit].
- NOWACKI, W., MARUMO, F. und TAKÉUCHI, Y. (1964) - Untersuchungen an Sulfiden aus dem Binnental (Kt. Wallis, Schweiz). SMPM 44, 5-9 [Rathit-I, Dufrénoysit, Skleroklas, Sinnerit, Baumhauerit].
- NOWACKI, W., WUENSCH, B. J. und KUNZ, V. (1964) - Über eine stengeligfaserige Ausbildung von Jordanit aus dem Lengenbach. SMPM 44, 455-458 [und Markasit].
- OHMASA, M. and NOWACKI, W. (1970) - Redetermination of the crystal structure of aikinite. Z. Krist.
- RAMDOHR, P. (1960) - Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Akademie-Verlag, Berlin.
- RIBAR, B., NICCA, CH. (†) und NOWACKI, W. (1969) - Dreidimensionale Verfeinerung der Kristallstruktur von Dufrénoysit, $Pb_8As_8S_{20}$. Z. Krist. (im Druck).
- RIBAR, B. und NOWACKI, W. (1969) - Die Kristallstruktur von Stephanit ($SbS_3|S|Ag_3$). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 49, 385.
- RÖSCH, H. und HELLNER, E. (1959) - Hydrothermale Untersuchung am System $PbS-As_2S_3$. Naturw. 46, 72 [Skleroklas-I, -II, Baumhauerit-I, -II, Liveingit, Rathit-I, -II, Dufrénoysit, Lengenbachit, Jordanit, Gratonit].
- ROLAND, G. W. (1968a) - The system Pb-As-S. Composition and stability of jordanite. Min. Deposita 3, 249-260.
- (1968b) - Synthetic trechmannite. Amer. Min. 53, 1208-1214.
- SCHABER, G. G. (1965) - Mineralogy and crystal chemistry of the sulfosalt minerals: bournonite, seligmannite, aikinite, diaphorite and freieslebenite. Ph. D. Diss. Univ. Cincinnati.
- SCHALLER, I. (1961, publ. 1962) - Die Binnite vom Lengenbach. Bull. Soc. Fribourg. Sci. Nat. 51, 167-222.
- SCHALLER, I. und NICKEL, E. (1963) - Winkelmessung und Flächensicherung an Binniten. Der Aufschluss 14, 29-36.
- STALDER, H. A. (1967) - Abhängigkeit einiger alpiner Mineralgesellschaften von der Zusammensetzung des hydrothermalen Lösungsmittels. SMPM 47, 1124-1131.
- STRUNZ, H. (1966) - Mineralogische Tabellen. 4. Aufl., Leipzig Ak. Verl.-Ges. Geest und Portig K.-G.
- TAKÉUCHI, Y., GHOSE, S. and NOWACKI, W. (1964) - The crystal structure of hutchinsonite $(Tl,Pb)_2As_2S_9$. Chimia 18, 215-217.
- (1965) - The crystal structure of hutchinsonite, $(Tl,Pb)_2As_2S_9$. Z. Krist. 121, 321-348.
- TAKÉUCHI, Y. and NOWACKI, W. (1964) - Detailed crystal structure of rhombohedral MoS_2 and systematic deduction of possible polytypes of molybdenite. SMPM 44, 105-120.
- TAKÉUCHI, Y., OHMASA, M. and NOWACKI, W. (1968) - The crystal structure of wallisite, $PbTlCuAs_2S_8$, the Cu analogue of hatchite, $PbTlAgAs_2S_8$. Z. Krist. 127, (1968) 349-365.
- WUENSCH, B. J. (1964) - The crystal structure of tetrahedrite, $Cu_{12}Sb_4S_{13}$. Z. Krist. 119, 437-453.

- WUENSCH, B. J. und NOWACKI, W. (1963) – Zur Kristallchemie des Sulfosalzes Marrit. *Chimia* 17, 381–382.
- (1966) – The substructure of the sulfosalt jordanite. *SMPM* 46, 89–96.
- (1967) – The crystal structure of marrite, PbAgAsS_3 . *Z. Krist.* 125, 459–488. (Menzel-Festschrift).
- WUENSCH, B. J. TAKÉUCHI, Y. and NOWACKI, W. (1966a) – Comparison of the structures of binnite, $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$, and tetrahedrite, $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$. *Amer. Min.* 51, 276.
- (1966b) – Refinement of the structure of binnite, $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$. *Z. Krist.* 123, 1–20. *Amer. Min.* 51, 276.
- ZEMANN, A. und ZEMANN, J. (1959) – Zur Kenntnis der Kristallstruktur von Loranid, TlAsS_2 . *Acta Cryst.* 12, 1002–1006.