©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Carinthia II	172./92. Jahrgang	S. 49–62	Klagenfurt 1982

Ablauf und Bildungstemperatur der Blei-Zink-Vererzung von Bleiberg-Kreuth/Kärnten

Von Friedrich KAPPEL und Erich SCHROLL

Mit 4 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung: Mineralparagenese, Strontiumverteilung, Isotopenverhältnisse ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, $\delta^{34}S$), Fluoreszenzverhalten und Illitkristallinität lassen den Schluß zu, daß die primäre Vererzung im Oberen Wettersteinkalk von Bleiberg/Kreuth in späten Mineralphasen Bildungstemperaturen bis 100 °C erreicht haben kann. Ein tektonisches Modell, das den Prozeß einer postsedimentären Wiederaufwärmung und Remobilisation möglich macht, wird zur Diskussion gestellt.

Abstract: Mineral paragenesis, distribution of strontium, isotopic ratios ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, $\delta^{34}S$), fluorescence properties and crystallinity of illite allow the conclusion that the primary ore mineralization of the Upper Wetterstein Limestone of Bleiberg/Kreuth can have reached formation temperatures up to 100 °C in final stages. A tectonic model is discussed explaining the process of postsedimentary reheating and remobilisation.

1. PROBLEMSTELLUNG

Die Blei-Zink-Vererzung von Bleiberg-Kreuth war vormals zu den „telemagmatischen" Lagerstätten gezählt worden. Darunter sind Erzmineralisationen zu verstehen, die von einem fernen magmatischen Herd migriert und „telethermal" bei relativ tiefen Temperaturen, unter 150 °C, abgesetzt worden sind. Es besteht heute kein Zweifel, daß die Blei-Zink-Erze von Bleiberg-Kreuth an mehrere stratigraphische Niveaus in der Zeit vom Cordevol bis Jul der Trias gebunden und ursprünglich synsedimentär gebildet worden sind [(vgl. u. a. SCHULZ und SCHROLL (1977), BRIGO et al. (1977)]. Die Bildungstemperaturen dieser Sulfidschlämme sollten im Sabka-Milieu der „Bleiberger Fazies" (d. h. der klassischen Vererzung im oberladinischen Erzkalk) 25 °C nicht wesentlich überschritten haben. Das gleiche gilt wohl auch für Abscheidungen in einem euxinischen Sedimentationsmilieu, wie im Unterladin als Vererzung der Maxer Blinke oder im Karn, wo Erze zwischen dem ersten und zweiten Cardita Schiefer sowie oberhalb des dritten Schiefers abgelagert worden sind. Während die Suche nach Zufuhrspalten mit höherthermalen Absätzen bisher keinen überzeu-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

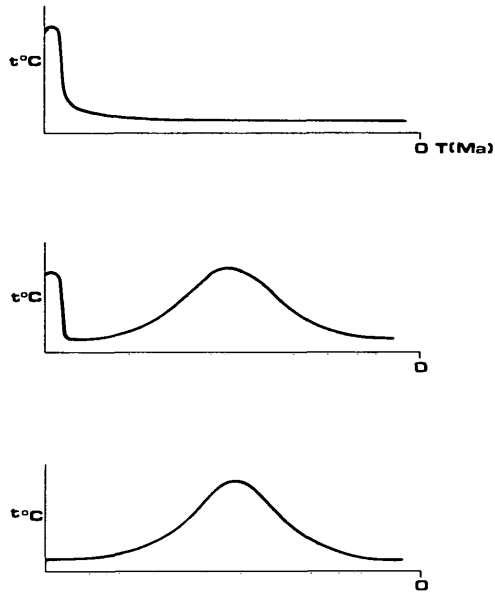

Abb. 1: Drei Modelle des Temperaturverlaufes im Bereich des Gesteins und Erzkörpers von Bleiberg von der Trias bis heute (t = o). Oben: Hydrothermale Zufuhr. Mitte: Hydrothermale Zufuhr und tektonisch bedingte Aufwärmung. Unten: Sedimentäre Genese und tektonisch bedingte Aufwärmung.

genden Erfolg gebracht hat, sprechen doch viele Beobachtungen dafür, daß vor allem im Bereich der „Bleiberger Fazies" umfangreichere Umlagerungsprozesse in Gängen, Brekzien und karstartigen Hohlräumen in einem höheren Temperaturbereich, etwa zwischen 50 und 150 °C, vor sich gegangen sein müssen. Die chemischen Voraussetzungen waren wohl durch wechselnde Salinitätsunterschiede der degenerierten Meerwasserlösungen gegeben. Die schichtigen Vererzungen in den Karbonatgesteinsanlagerungen zwischen den Raibler Schiefern sind dagegen überwiegend noch im frühdiagenetischen Zustand erhalten geblieben. Sulfidische Lösungsumsätze, vor allem mit den Metallen Zink und Eisen, klingen mit Mineralisationen von blauem Anhydrit, Gips („Marienglas"), Coelestin, Strontianit und Kalkspat (Kanonenspat) aus.

Umlagerungsprozesse, die bis in die Kreide als Auswirkung aufgewärmter Porenlösungen vorstellbar sind, werden von MAUCHER und SCHNEIDER (1967), GERMANN (1958) und SCHNEIDER (1959) auch im späten Mesozoikum nicht für unmöglich gehalten. Dagegen führte SCHULZ (1966) die s-diskordanten Erzgänge von Bleiberg aufgrund gefügetektonischer Untersuchungen auf voralpidische Deformationen zurück und faßt die Erzmineralisation vortektonisch in bezug auf die alpine Orogenese mit Lösungszufuhr „entlang direkter Zufuhrwege" auf. CARDICH-LOARTE (1971)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

hat dagegen auf der Basis einer Strontiumbilanz in Gangart und Nebengestein der Erzkalkvererzung ein Mineralisationsmodell mit sedimentär-marinem Absatz und mit einer bis Jura und Kreide nachwirkenden Mineralisationsabfolge neuerlich zur Diskussion gestellt (vgl. auch CARDICH-LOARTE und SCHROLL, 1972).

In Abb. 1 sind drei Modelle der möglichen Temperaturentwicklung im Bereich der Lagerstätte graphisch dargestellt. Wenn man in Betracht zieht, daß nach Überlagerung durch weitere Sedimentfolgen und tektonische Ereignisse im Verlauf der Gebirgsbildung eine Aufwärmung möglich erscheint, so sind neuerliche lokale Mineralisationsprozesse aus dem Stoffbestand lokal vorstellbar.

Es soll nun anhand von Messungen und Beobachtungen an Mineralen und Gesteinen die Hypothese einer thermischen Entwicklungsgeschichte der Lagerstätte überprüft werden.

2. METHODEN

Zur Bestimmung bzw. Abschätzung von Bildungstemperaturen in der Bleiberger Lagerstätte können verschiedene Methoden in Betracht gezogen werden, wie

2.1 Studium der Mineralparagenese und Minerogenese
2.2 Methoden der Chemogeothermometrie
2.3 Methoden der Isotopengeothermometrie
2.4 Messung des Fluoreszenzverhaltens bituminöser Substanzen bzw. Stabilität von Kohlenwasserstoffverbindungen
2.5 Illitkristallinität

sowie Untersuchungen über Flüssigkeitseinschlüsse in Kristallen und der Nachweis der Mitwirkung von Mikroorganismen.

Es konnten noch nicht alle methodischen Möglichkeiten genützt werden. So fehlen vor allem Daten über Flüssigkeitseinschlüsse, die in Flußspat, Quarz, Kalkspat oder auch Zinkblende zu suchen wären. Diese Methodik ist allerdings nur bei größeren Kristallindividuen mit Erfolg anwendbar. Die bisherigen Ergebnisse zeigen jedoch, daß dennoch bereits grundlegende Aussagen über Minerogenese und thermische Geschichte der Lagerstätte gemacht werden können.

2.1 Mineralparagenese und Minerogenese

Ausführliche Studien über Mineralparagenese und Minerogenese liegen von SCHROLL (1953) und vom modernen Standpunkt des Einflusses diagenetischer Prozesse von SCHULZ (1968) vor. Eine spezielle Untersuchung über die Strontiummineralisation in Bleiberg wurde von CARDICH-LOARTE (1971) vorgenommen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Es besteht Übereinstimmung, daß die Ausscheidung blauen Anhydrites, die nur in geringem Umfang mit der Ausscheidung bzw. Rekristallisation von Sulfiden verbunden ist, zu den letzten Phasen des Mineralisationsgeschehens zählt. Das gleiche gilt für die Bildung von Coelestin, der vorzugsweise an Mergelbänke (Lager des Erzkalkes) erzfrei gebunden ist und an das wenig beachtete reichliche Vorkommen von Strontianit, der zusammen mit Calcit Baryt verdrängt (SCHROLL, 1953, CARDICH-LOARTE, 1971).

Man weiß heute, daß sich diese Gangartminerale bei Temperaturen um 100 °C auszuscheiden pflegen. $CaSO_4$ erreicht in erhitztem Meerwasser etwa bei 110 °C die Sättigung, so daß oberhalb dieser Temperatur Anhydrit ausgeschieden wird (GLATER und SCHWARTZ, 1976). Evaporitisches Sulfat war wohl die stoffliche Quelle für den blauen Anhydrit. Die Schwefelisotopenzusammensetzung dieses Anhydrites schließt die früher diskutierte Annahme eindeutig aus, daß oxidative Prozesse zur Bildung von Sulfat geführt hätten. Die beobachtete Verdrängung des Calcites folgt aus der höheren Stabilität des Calciumsulfates.

Auch für $SrSO_4$ tritt im erhitzten Meerwasser bei annähernd 110 °C Sättigung ein (HOLLAND und MALININ, 1979), so daß auch die Ausscheidung von Coelestin erwartet werden darf. Allerdings kann die Bildung von Coelestin auch unter lokal möglichen Bedingungen eines hiefür günstigen anormal hohen Verhältnisses der Sr/Ca-Aktivitäten erfolgen.

Unterhalb 200 °C ist die Löslichkeit von $SrCO_3$ geringer als die von $CaCO_3$. Wenn sich aber Lösungen mit anormal hohen Sr/Ca-Verhältnissen bilden, wie in Gegenwart Sr-reicher Evaporite, aragonitführender Carbonatgesteine u. dgl., kann auch Strontianit vor Calcit ausgeschieden werden. Erfahrungsgemäß sind die meisten Strontianite nahe oder unter 100 °C ausgeschieden worden. Hydrothermale Ausscheidungen oberhalb 200 °C sind unwahrscheinlich.

2.2 Chemogeothermometrie

Die Silberarmut der Erze sowie die gesamte Spurenvergesellschaftung in Bleiglanz und Zinkblende sprechen qualitativ für tiefthermale, d. h. auch sedimentäre Abscheidung der Erze. Die Eisen- und Mangangehalte der Zinkblende lassen sich auch mit denen der entsprechenden Nebengesteine korrelieren.

Eine Abschätzung der Bildungstemperatur strontiumhaltiger Gangartminerale, wie Calcit und Anhydrit, ergibt einen Bereich unter 150 °C (CARDICH-LOARTE, 1971). Die Calcite zeigen in der Trachtabfolge Skalenoederspat–Kanonenspat in den Mittelwerten eine geringe Abnahme des Sr-Gehaltes von 125 auf 109 ppm. Bei Verwendung des Verteilungskoeffizienten von Sr^{+2} läßt sich der Strontiumgehalt der Mineralisationslösungen von rund 1 ppm bei 100 °C errechnen. Dies würde mit der Annahme übereinstimmen, daß als Mineralisationsmedium Meerwasser vorhanden gewesen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

ist, da im durch diagenetische Prozesse veränderten Meerwasser die Sr-Konzentration abnimmt.

Der blaue Anhydrit enthält im Mittel 1366 ppm Sr. Der Verteilungskoeffizient von Sr^{+2} zwischen Anhydrit und Lösung zeigt, daß bei 90 °C die Sr-Konzentration von 1,25 ppm Sr in der Mineralisationslösung erreicht wird. Der theoretische Sr-Gehalt des Mineralpaares Calcit-Anhydrit würde 128 ppm Sr bzw. 1367 ppm Sr betragen. Die Bildungstemperatur des blauen Anhydrites steht somit in keinem Widerspruch.

2.3 Isotopengeothermometrie

2.3.1 Schwefelisotope ($\delta^{34}S$)

Das vorliegende Datenmaterial zeigt, daß bei der Fraktionierung der Schwefelisotopen zwischen Sulfat- und Sulfidmineralen bzw. auch zwischen den Sulfiden selbst kein Gleichgewicht erreicht worden ist.

Die Verteilung der Schwefelisotopen in den Sulfiden Zinkblende, Bleiglanz und Markasit ist faziesgebunden. Im Wettersteinkalk (Erzkalk) findet man vorwiegend $\delta^{34}S$-Werte zwischen –4 und –10‰ und in den euxinischen Faziesbereichen des Wettersteindolomites und der Raibler Schiefer –20 bis –25‰. Die Schwefelisotopenverteilung ist biogener Herkunft und somit an Temperaturen unter 50 °C gebunden. Bei Umlagerungsprozessen, die bei höheren Temperaturen als 50 °C vor sich gegangen sein können, ist oft keine oder nur eine geringe Veränderung der Ausgangswerte zu beobachten. Es gibt jedoch auch eine Gruppe von $\delta^{34}S$-Werten zwischen –10 und –20‰, die als Mischwerte gedeutet werden können und vielleicht auch auf Prozesse mit erhöhten Temperaturen zurückzuführen sind. Nur Umlagerungen, die bei tieferen Temperaturen, vor allem bei Bildung sekundärer Schalenblenden in Hohlräumen mit dem Charakter offener Systeme, vor sich gegangen sind, lassen ein abermaliges Wirksamwerden bakteriogener Prozesse erkennen, durch die der $\delta^{34}S$-Wert um etwa 15‰ in Richtung auf leichteren Schwefel verschoben erscheint.

2.3.2 Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope ($\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$)

Weitere Aussagen liefert die Messung der Isotopenzusammensetzung des Sauerstoffs und des Kohlenstoffs der Calcite (SCHROLL und EICHER, 1978). Abb. 2 zeigt die Zusammenfassung der bisherigen Untersuchungsergebnisse. Die Isotopenzusammensetzung im Wettersteinkalk entspricht den Werten triassischer Karbonatgesteine. Frühdiagenetische Calcite weichen vom Nebengestein nur geringfügig ab, wobei der $\delta^{18}O$-Wert vom Skalenoederspat in Richtung Kanonenspat abnimmt. Der $\delta^{13}C$-Wert wird geringfügig in Richtung schwererer Kohlenstoff verschoben. Calcite aus Gang- und Hohlraumsystemen des Oberen Wettersteinkalkes zeichnen sich durch extrem niedrige $\delta^{18}O$-Werte aus, jedoch ohne nennenswerte Änderung in der Zusammensetzung der Kohlenstoffisotope. Dies beweist, daß die Ausscheidung aus aufgewärmtem Meerwasser vor sich gegangen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

sein muß. Die Differenz von + 22 auf +12‰ (SMOW) $\delta^{18}O$ sollte gemäß dem Isotopengleichgewicht $CaCO_3$–H_2O auf eine Temperaturerhöhung deuten.

Calcite, die durch meteorische Wässer in der Oxidationszone ausgeschieden worden sind, fallen im $\delta^{13}C/\delta^{18}O$-Diagramm in den Bereich der rezenten Süßwasserkalke. Zurzeit ist noch die Frage offen, ob der Übergang vom Meerwasser zu meteorischen Wässern diskontinuierlich erfolgt ist.

2.4 Fluoreszenzverhalten bituminöser Substanzen

Geeignet für fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen sind die relativ bitumenreichen, karbonatfreien, stratigraphisch im Zentrum der Vererzung liegenden, vorwiegend illitischen Schiefertone aus den drei Schiefertonhorizonten der Raibler Schichten. Die im UV-Licht fluoreszierenden bituminösen Substanzen sind entweder an nicht fluoreszierendem Illit absorbiert oder entlang von s-Flächen des Gesteins stark angereichert.

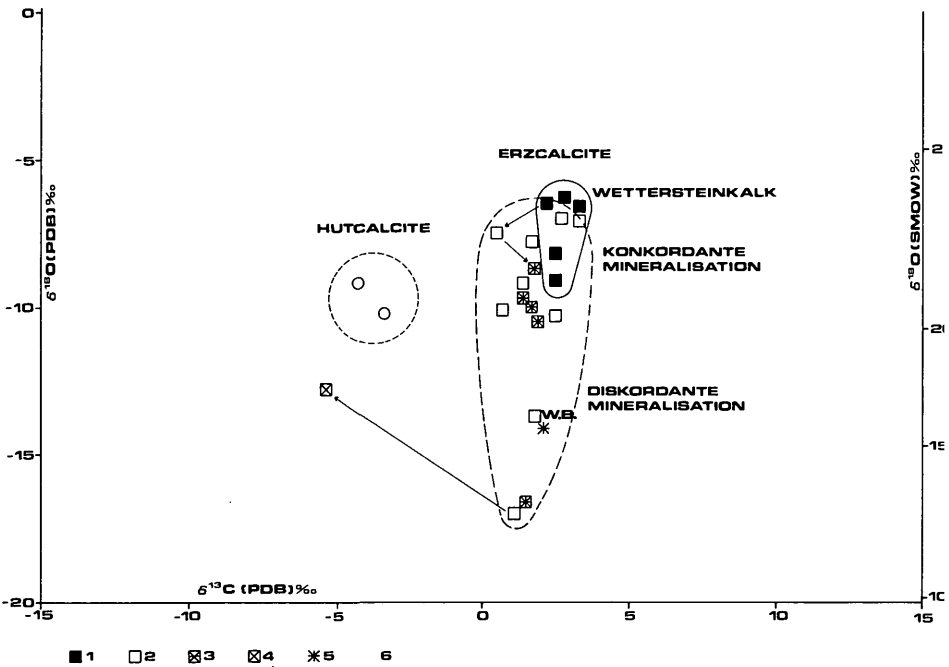

Abb. 2: Isotopendiagramm Kohlenstoff–Sauerstoff ($^{13}C/^{18}O$) des Karbonatanteiles von Kalksteinen und Kalkspaten in der Lagerstätte Bleiberg. 1 Wettersteinkalk, 2 Erzcalcit (Skalenoederspat), 3 Erzcalcit (Kanonenspat), 4 Übergangscalcit (Kanonenspat mit steilen Rhomboedern), 5 Strontianit, 6 Hutcalcit.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

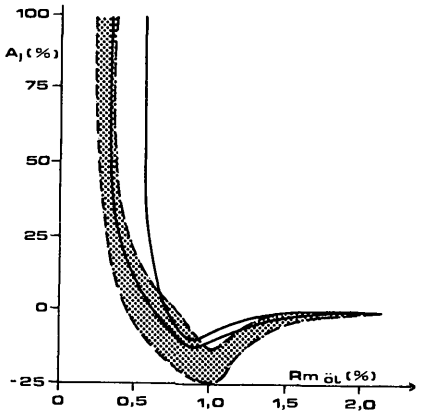

Abb. 3: Korrelation zwischen Fluoreszenzwerten des Gesteins (A_J%) und Reflexionswerten des Vitrinits ($R_{möl}$%) nach TEICHMÜLLER und OTTENJANN (1977) und nach eigenen Messungen.

2.4.1 Methode

Aus der mit Hilfe eines Mikrophotometers gemessenen prozentuellen Zunahme oder Abnahme der Fluoreszenzintensität (positive oder negative Alteration) nach 30 Minuten Bestrahlung der bituminösen Substanz mit monochromatischem UV-Licht von 546 nm Wellenlänge, bezogen auf eine Anfangsintensität nach 4 Minuten, lassen sich gewisse Schlüsse auf Maximaltemperatur, durchschnittliche Wirkungstemperatur und Dauer ihrer Einwirkung auf das Gestein ziehen (TEICHMÜLLER und OTTENJANN, 1977). Das Fluoreszenzverhalten ist, ebenso wie Inkohlungsgrad und Reflexionswert des Kohlemacerals Vitrinit, in erster Linie von der Temperatur und ihrer Einwirkungsdauer, also von der thermischen Geschichte, kaum jedoch vom Druck abhängig. Bei Fehlen von Vitrinit kann aus den gemessenen Fluoreszenzdaten innerhalb eines gewissen Fehlerbereiches auf die entsprechenden fiktiven Reflexionswerte geschlossen werden (Abb. 3). Nach KARWEIL (1975) kann eine Berechnung des Inkohlungsgrades des Vitrinits, somit auch seines Reflexionswertes (TEICHMÜLLER, 1971), versucht werden. Übereinstimmung zwischen gemessenen oder aus den Fluoreszenzdaten abgeleiteten und auf der Basis eines geologisch-geothermischen Modells errechneten Reflexionswerten läßt die primär angenommenen Temperatur–Zeit-Modelle als wahrscheinlich erscheinen. Die Reflexionswerte wurden unter der Annahme des Ausbleibens einer magmatogen bedingten Erwärmung berechnet.

2.4.2 Ergebnisse

Untersucht wurden die in Tab. 1 angeführten Proben und eine vererzte Probe, Bleiberg-Kreuth, Antonischacht, 10. Lauf (Bleiglanz in Carditaschiefer, karbonatisiert).

Die röntgendiffraktometrisch und thermoanalytisch (DTA, TG) ermittelte mineralogische Zusammensetzung des Probenmaterials ist in Tab. 1 wiedergegeben, die Meßergebnisse in den Tab. 2 und 3.

Die Illite enthalten eine beträchtliche Menge an Adsorptionswasser (bis 210 °C), wobei der erste Schiefer aus Windisch Bleiberg mit 3,4% einen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

TABELLE 1:

Mineralogische Zusammensetzung der Schiefertonproben
(Gew. %)

Lfd. Nr.	Fundort	Illit	Quarz	Chlorit	Feld-spat	Dolomit	Pyrit + org. Subst.
1	Erster Schiefer Rublandstollen	81	5	3	7	0	4,3
2	Zweiter Schiefer Rublandstollen	76	9	4	8	0	2,7
3	Dritter Schiefer Rublandstollen	52	7	5	4	30	1,6
4	Erster Schiefer Antonischacht Bleiberg	73	10	5	8	0	3,6
5	Erster Schiefer Windisch Bleiberg	76	11	5	6	0	2,0

deutlich höheren Gehalt aufweist als die übrigen Proben mit Werten zwischen 1,7 und 2,6%.

Die Fundpunkte der Proben 4 und 5 sind nach HOLLER (1976) der „Mitterbergdecke" und die der Probe 1 bis 3 der „Erzbergdecke" zuzuordnen.

Die theoretischen, fiktiven Vitrinitreflexionswerte wurden unter der Annahme 1200 m Hauptdolomitsedimentation berechnet. Rhät-, Jura-, Kreide- und Tertiärsedimentation wurden als fehlend angesehen (TOLLMANN, 1977:597). Allerdings muß erwähnt werden, daß in der Nordseite der Lienzer Dolomiten Jura und Kreide erhalten geblieben sind und auch nördlich Hermagor ein Rest von Jura bekanntgeworden ist. Im geschützten Bereich des Ostrandes der Villacher Alpe sind anscheinend mächtige Tertiärablagerungen erhalten. Solche sind auch in Spuren für Windisch Bleiberg zu erwarten (Hinweis KAHLER, 1981). Die vorgosauische Gebirgsbildung führt zu Schuppenbildungen im Ostsporn der Gailtaler Alpen, jedoch nicht zu weitreichenden Deckenbildungen, so daß für die untersuchten Proben aus dem Rublandstollen und Bleiberg je 1700 bis 1800 m tektonische Überlagerung durch die „Erzbergdecke" bzw. „Dobratschdecken", für die Probe aus Windisch Bleiberg jedoch keine tektonische Überlagerung angenommen wurde. Der geothermische Gradient wurde für alle Epochen mit 3 °C/100 m angenommen.

TABELLE 2:

Fluoreszenzalteration A_J n. 30 Minuten (bezogen auf Intensität n. 4 Minuten Bestrahlung)
Reflexionsgrad (errechnet und abgeleitet aus Alteration $A_{J,\,4\text{-}30'}$)

	1. Schiefer Windisch-Bleiberg	1. Schiefer Einbaust. Antonischacht	vererzte Probe Bleiberg	3. Schiefer Rubland-stollen	2. Schiefer Rubland stollen	1. Schiefer Rubland stollen
Fluoreszenzalteration $A_{J,4\text{-}30'}$ in %, (t=O)	+88,3	+22,5	-5,4	+2,1	+5,4	+0,2
Reflexionswerte an Oberkante in %						
Errechnet: Holozän t=O	0,58	0,70	0,72	0,66	0,69	0,74
vorgosauische Überschiebung t=93 Mio a						
Hauptdolomit t=205	0,53	0,53	0,53	0,51	0,52	0,54
Raibler Schichten t=215	0,40	0,40	0,40	0,39	0,40	0,40
Abgeleitet aus $A_{J,4\text{-}30'}$ t = O	0,24-0,55	0,35-0,59	0,63-0,88	0,50-0,78	0,46-0,73	0,54-0,80
Teufe (in m)	100	100	100	100	100	100
Angenommene sedimentäre Überlagerung (in m)	1200 (Hptdol) 260 (R.Sch.)	1200 (Hptdol) 260 (R.Sch.)	1200 (Hptdol) 260 (R.Sch.)	1200 (Hptdol) 90 (R.Sch.)	1200 (Hptdol) 170 (R.Sch.)	1200 Hptdol) 260 (R.Sch.)
Angenommene tektonische Überlagerung (in m)	0	1700 (Dobratsch D.)	1700 (Erzberg D.)	1800 (Erzberg D.)	1800 (Erzberg D.)	1800 (Erzberg D.)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

TABELLE 3:
Illitkristallinität nach K. WEBER und B. KUBLER, "Sharpness ratio" n. C.E. WEAVER

	1. Schiefer Windisch-Bleiberg	1. Schiefer Einbaust. Antonischacht	3. Schiefer Rubland-stollen	2. Schiefer Rubland stollen	1. Schiefer Rubland stollen
Halbwertsbreite n. K. WEBER	15,01	13,51	13,92	14,56	12,60
Sharpness ratio n. C.E. WEAVER	2,83	3,66	2,43	2,93	5,18
tekton. Zugehörigkeit n. H. HOLLER	Karawanken	Erzbergdecke		Mitterbergdecke	

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

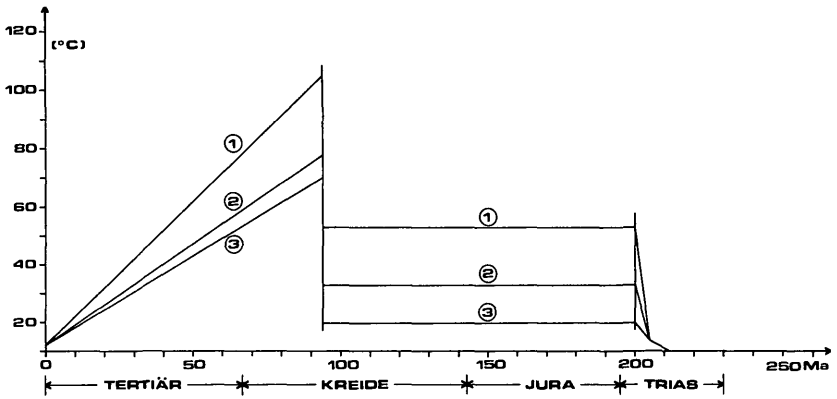

Abb. 4: Temperatur–Zeit-Modell für die Raibler Schichten. 1. Hauptdolomitsedimentation 1200 m und tektonische Überschiebung 1700 m. 2. Dasselbe 500 m bzw. 1500 m. 3. Dasselbe 120 m bzw. 1700 m.

Die errechneten fiktiven Reflexionswerte stimmen mit den aus den Fluoreszenzdaten abgeleiteten so weit überein, daß das in Abb. 4 aufgestellte, den errechneten Werten zugrundeliegende Temperatur–Zeit-Modell als möglich angesehen werden kann. Demnach wäre die Temperatur im Lagerstättenbereich auch bei günstigsten Annahmen auf nur 104 °C gestiegen, und zwar kurzfristig im Zeitraum nach der vorgosauischen Phase. Später gelangten die Proben durch Erosion des Gebirges wieder in geringere Tiefen- und Temperaturbereiche. Die durchschnittliche Wirkungstemperatur über 90 Millionen Jahre (ab Turon) ist mit 45–58 °C angenommen, jene von Ende Nor bis Turon mit 20–53 °C.

Der erste Schiefer am Antonischacht weist, möglicherweise infolge seiner höheren tektonischen Position, mit +22,52% einen höheren Alterationswert auf als die Proben aus dem Rublandstollen.

Die vererzte Probe aus Bleiberg fällt mit –5,41% aus der Reihe. Selbst dieser relativ hohe negative Alterationswert würde keinen höheren Temperaturmaximalwert als 114 °C knapp nach der vorgosauischen Verschuppung in diesem Gebiet anzeigen.

Würde man für die untersuchten Proben von Bleiberg ein extremes Modell annehmen, dem nur eine Überlagerung von 1000 m zugrunde gelegt ist, so müßte dennoch eine Temperaturerhöhung von etwa 70 °C wirksam gewesen sein.

Die höchste positive Alteration (+88%), somit die niedrigste Temperaturbelastung, zeigt die Probe aus Windisch Bleiberg. Diese geringe Mächtigkeit ist tektonisch vorgetäuscht, denn nördlich des Windisch Bleiberger Bruches wurde ein mächtiger Hauptdolomit erbohrt.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

2.5 Illitkristallinität

Als weitere Kriterien zur Erfassung des Diagenesegrades der Schiefertone der Raibler Schichten bieten sich die Illitkristallinität (KUBLER, 1966, DUNOYER de SEGONZAC, FERRERO und KUBLER, 1968, WEBER, 1972) und die „Sharpness Ratio" nach WEAVER (1960) an.

Die Halbwertsbreite des Illitreflexes (001) bei 10 Å sinkt mit steigender Temperaturbelastung unter Anzeige höherer Kristallinität. Die Halbwertsbreiten sind in der von WEBER (1972) ausgearbeiteten Form angeführt. Die „Sharpness Ratio" gibt das Verhältnis der Reflexhöhen des Illits bei 10 und 10,5 Å wieder. Die Verhältniszahlen vergrößern sich mit Zunahme der Diagenese und Metamorphose.

Die Bestimmung der Illitkristallinität in den mineralogisch und chemisch ähnlich zusammengesetzten Schiefertonen der Raibler Schichten sowie der „Sharpness Ratio" bestätigen die Ergebnisse der Fluoreszenzuntersuchungen und Reflexionsberechnungen (Tab. 2 und 3). Die Illite liegen in der 1-Md-Modifikation vor. Der erste Raibler Schiefer von Windisch Bleiberg zeigt die geringste, der stratigraphisch und tektonisch tiefste Raibler Schiefer vom Rubland-Stollen die relativ höchste Temperaturbelastung, während der erste Schiefer aus dem Einbaustollen Antoni-Schacht wie bei den Fluoreszenz- und Reflexionsdaten eine mittlere Position einnimmt.

WEBER (1972) und WOLF (1973) stellten im nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge eine Korrelation zwischen Illitkristallinität und Vitrinitreflexion auf. Die Extrapolation dieser Korrelationskurve läßt Reflexionswerte um 0,75 bis 0,5%, somit kurzfristige Maximaltemperaturen bis ungefähr 110 °C vermuten. Der errechnete und aus den Fluoreszenzdaten abgeleitete, fiktive, maximale „Reflexionswert" der Bleiberger Schiefertone liegt bei 0,8%.

Der Bereich der Spätdiagenese ist, den vorhandenen Daten nach, noch nicht überschritten (FÜCHTBAUER und MÜLLER, 1970). Pyrophyllit, der Temperaturen von 300–400 °C voraussetzt, tritt nicht auf. Sowohl Fluoreszenzeigenschaften wie Illitkristallinitäten müssen vorwiegend synkinematisch angelegt sein, da ihre Werte von der tektonischen Position abhängig zu sein scheinen. Der Illit muß vorwiegend authigen gebildet sein. Die hohen Halbwertsbreiten, die auf schlechte Kristallisation und niedrige Temperaturen hinweisen, sind das Ergebnis der letzten Illitkristallisation, während oder kurz nach der vorgosauischen Verschuppung. Eventuell vorhandener, besser kristallinisierter, detritärer Illit hat keinen Einfluß auf die Halbwertsbreiten.

3. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das vorliegende Datenmaterial verdichtet die Vorstellung, daß in der primären Vererzung von Bleiberg-Kreuth Mineralisationsphasen mit Bildungtemperaturen um 100 °C wirksam gewesen sind. Nach diesem tekto-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

nischen Modell könnte die Gesteinsabfolge der mittleren Trias im Verlauf der alpidischen Orogenese 100 °C erreicht haben. Das Modell der Aufwärmung der schichtgebundenen Vererzung und eine sich daraus ergebende neuerliche Remobilisation können daher zur Diskussion gestellt werden. Das Wirksamwerden aufgewärmter Meerwässer in submarinen Karst- und Kluftsystemen in einer Schlußphase spät- bis epidiagenetischer Mineralisationen ist nicht auszuschließen.

4. DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes Nr. 2437 des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung sowie des Projektes 7061 des Komitees für das IGCP der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (JUGS-IGCP Projekt Nr. 6) durchgeführt. Herrn Dr. F. KAHLER, Klagenfurt, sei für wertvolle ergänzende Hinweise gedankt.

LITERATUR

BRIGO, L., L. KOSTELKA, P. OMENETTO, H.-J. SCHNEIDER, E. SCHROLL, O. SCHULZ und I. STRUČL (1977): Comparative Reflections on four Alpine Pb-Zn-Deposits. In: Time- and Strata-Bound Ore Deposits. (KLEMM, D. D./H. J. SCHNEIDER, eds.), Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg–New York: 273–293.

CARDICH-LOARTE, L. A. (1971): Geochemie des Strontiums in der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg-Kreuth. Diss. Universität Wien, 1971.

CARDICH-LOARTE, L. A., E. SCHROLL (1972): Zur Geochemie des Strontiums in den Blei-Zink-Mineralisationen vom Typ Bleiberg-Kreuth und ihre Beziehung zur Erzgenese. Proceedings of the 2nd Intern. Symp. on the Mineral Deposits of the Alps. Geologya (Ljubljana) 15 (1972):337.

DUNOYER de SEGONZAC, G., J. FERRERO und B. KUBLER (1968): Sur la cristallinité de l'illite dans la diagenèse et l'anchimetamorphisme. Sedimentology, 10:137–143, Amsterdam.

FÜCHTBAUER, H., und G. MÜLLER (1970): Sedimente und Sedimentgesteine. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

GERMANN, K. (1968): Diagenetic patterns in the Wettersteinkalk (Ladinian, Middle Trias) North Limestone Alps, Bavaria and Tyrol. – Journ. Sediment. Petrol. 38:490–500.

GLATTER, J., und J. SCHWARTZ (1976): High-temperature solubility of calcium sulfate hemihydrate and anhydrite in natural seawater concentrations. – In: BARNES, H. L. (ed.): Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Wiley-Interscience, New York, 1979.

HOLLAND, H. D., und S. D. MALININ (1979): The solubility and occurrences on non-pre Minerals. In: BARNES, H. L. (ed.): Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Wiley-Interscience, New York, 1979:461–508.

HOLLER, H. (1976): Gedanken zum Bau des Dobratsch in den östlichen Gailtaler Alpen. Carinthia 166./86.:43–55.

KARWEIL, J. (1975): The determination of paleotemperatures from the optical reflectance of coaly particles in sediments. In: Pétrographie organique et potentiel pétrolier; édition du centre national de la recherche scientifique, Paris 1975:195–203.

KUBLER, B. (1966): La cristallinité de illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In: Colloque sur les Étages Tectoniques. A la Baconnière: 105–122.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

– (1968): Evolution quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. État des progrès réalisés ces dernières années. Bul. Centr. Tech. Pan. – S.N.P.A. 2:385–387.

MAUCHER, A., und H. J. SCHNEIDER (1967): The Alpine lead zinc ore. Econ. Geol. Monogr. 3:71–89.

SCHNEIDER, H. J. (1959): The influence of connate water on ore mobilization of lead Zinc deposits in carbonate sediments (Summary). – Meeting on remobilization of ores and minerals, Cagliari 1959:315–321.

SCHROLL, E. (1953): Über Minerale und Spurenelemente, Vererzung und Entstehung der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). Mitt. Öst. Min. Ges., Sonderheft 2.

SCHROLL, E., und U. EICHER (1978): Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen-Bestimmungen von einigen Kalksteinen und Kalziten aus der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth/ Kärnten. Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. 7:1–3.

SCHULZ, O. (1966): Diskordante Erzgänge vom Typus Bleiberg syndiagenetische Bildungen. – Symposium Internazionale sui Giacimenti Minerari delle Alpi. Arti grafiche Saturnia, Trento, Vol. 1:149–162.

– (1968): Die synsedimentäre Mineralparagenese im Oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). Tscherm. Min. Petr. Mitt. 12:230–289.

SCHULZ, O., und E. SCHROLL (1977): Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth. Verh. Geol. B. A., 1977, Heft 3:375–386.

TEICHMÜLLER, M. (1971): Anwendung kohlepetrographischer Methoden bei der Erdöl- und Erdgasprospektion. Erdöl und Kohle – Erdgas – Petrochemie – vereinigt mit Brennstoffchemie, 24. Jg., Febr. 1971, Nr. 2:69.

TEICHMÜLLER, M., und K. OTTENJANN (1977): Liptinite und lipoide Stoffe in einem Erdölmuttergestein (fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen). Erdöl und Kohle – Erdgas – Petrochemie – vereinigt mit Brennstoffchemie, 1977.

TOLLMANN, A. (1977): Geologie von Österreich, Band 1. Franz Deuticke, Wien.

WEAVER, C. E. (1960): Possible uses of clay minerals in the search of oil. Clays and Clay Minerals, 8, Proceedings of the 8th national conference on clays and clay minerals: 214–227, 1960.

WEBER, K. (1972a): Kristallinität des Illits in Tonschiefern und andere Kriterien schwacher Metamorphose im nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 141, 3:333–363, Stuttgart, Nov. 1972.

– (1972b): Notes on determination of illite cristallinity. N. Jb. Miner. Mh., H. 6:267–276, 1972.

WOLF, M. (1973): Inkohlungsunterschiede in Gesteinen des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges und ihre geotektonischen Ursachen. Fortschr. Geol. Rhein. Westf., 1973.

Anschrift der Verfasser: tit. ao. Univ.-Prof. Dr. Erich SCHROLL, Dr. Friedrich KAPPEL, A-1031 Wien, Postfach 8, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Geotechnisches Institut.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: 172_92

Autor(en)/Author(s): Schroll Erich, Kappel Friedrich

Artikel/Article: Ablauf und Bildungstemperatur der Blei-Zink-Vererzung von Bleiberg-Kreuth/Kärnten- (Mit 4 Abildungen und 3 Tabellen) 49-62