



## Die Kupfer-Lagerstätte Brenntal (Tauernfenster): Bergbaugeschichte, Geologie, Erzmineralogie und Flüssigkeitseinschluß-Untersuchungen

MICHAEL KLING, GEORG LOTH, MICHAEL P. KUPFERSCHMIED & KLAUS LEWANDOWSKI\*)

6 Abbildungen und 1 Tabelle

Herrn Prof. Dr. RUDOLF HÖLL  
zum 60. Geburtstag gewidmet

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blatt 122

Österreich  
Salzburg  
Tauernfenster  
Habachgruppe  
Kupfer-Lagerstätte

### Inhalt

Zusammenfassung .....	5
Abstract .....	5
1. Einführung .....	6
2. Bergbaugeschichte .....	6
3. Geologischer Rahmen .....	7
4. Geologie der Lagerstätte .....	7
4.1. Lithologie .....	7
4.2. Erzführende Grünschiefer .....	8
4.3. Vererzungstypen .....	9
5. Erzmineralogie .....	11
6. Flüssigkeitseinschluß-Untersuchungen .....	11
7. Schlußfolgerungen .....	12
Literatur .....	12

### Zusammenfassung

Die Kupfer-Lagerstätte Brenntal war im Zeitraum von 1425 bis 1864 eines der bedeutendsten Bergwerke des Oberpinzgaus. Neuere geologische Untersuchungen über diese Lagerstätte liegen nicht vor. Eigene Arbeiten erlauben folgende Aussagen: Die Lagerstätte Brenntal ist an Grünschiefer gebunden, die sich als Teil der Habachgruppe interpretieren lassen. Es existieren mindestens zwei Vererzungstypen: Eine ältere, stratiforme Vererzung und eine jüngere, an Quarzkauern in alpidischen Bewegungsbahnen gebundene Vererzung. Der jüngere Vererzungstyp läßt sich als remobilisierter Stoffbestand der stratiformen Vererzung deuten. Die Remobilisation ist jünger als die Anlage der Bewegungsbahnen. Aufgrund von Flüssigkeitseinschluß-Untersuchungen lassen sich die Bildungsbedingungen der Quarzmobilisate mit etwa 220°C und 20–1200 bar festlegen. Durch die Kombination dieser Daten mit einem P-T-t-Pfad kann das Alter der Remobilisation auf etwa 15 Ma geschätzt werden. Diese Ergebnisse weisen auf Extensionsvorgänge, vermutlich im Zusammenhang mit der Hebung des Tauernfensters zu dieser Zeit hin.

### The Copper Deposit of Brenntal (Tauern Window): Mining History, Geology, Mineralisation, and Fluid Inclusion Studies

#### Abstract

The Brenntal copper deposit was an important mine of the Oberpinzgau area mainly worked from 1425 until 1864. More recent geological investigations have not been performed. Own investigations lead to following conclusions: The Brenntal deposit is hosted by metabasites interpreted as part of the Habach Group. At least two types of mineralisation can be distinguished: An older stratiform type, and a younger type bound to quartz veinlets in Alpidic deformation zones. The younger type is considered as remobilised ore of the older type. Due to its textures the remobilised ore type is younger than the formation of the hosting deformation zones. The formation conditions of the quartz veinlets were determined to some 220°C with a pressure of 20–1200 bar according to fluid inclusion studies. By combination of these data with a regional P-T-t-path the age of the ore remobilisation can be estimated to some 15 Ma. This points to regional extension probably due to the uplift of the Tauern Window at this time.

\*) Anschriften der Verfasser: Dipl.-Geol. MICHAEL KLING, Dipl.-Geol. GEORG LOTH & Dr. MICHAEL P. KUPFERSCHMIED: Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Universität München, Luisenstraße 37, D-80333 München; Dipl.-Ing. KLAUS LEWANDOWSKI: Bramberg 174, A-5733 Bramberg.

## 1. Einführung

Die einst bedeutende Kupferlagerstätte Brenntal liegt im Oberpinzgau, am Sühang des Salzachtales zwischen Hollersbach und Wenns (Abb. 1). Über den Bergbau und die Geologie dieser Lagerstätte ist bisher nur sehr wenig bekannt, da der Kupferbergbau im wesentlichen bereits 1864 eingestellt wurde. Die alten Stollen sind heute überwiegend verschüttet oder nicht mehr befahrbar. Schlüssige Hinweise auf die Lage dieser Stollen und der Erzkörper finden sich nur in wenigen alten Grubenplänen. Bei der Deutung der Oberflächenaufschlüsse bereiten die vorhandenen mächtigen Quartärablagerungen Schwierigkeiten. Die tektonische Position der Lagerstätte im Grenzbe- reich Obere/Untere Tauern-Schieferhülle, ihre Beziehung

zum angrenzenden Wenns-Versteinerungs Mesozoikum sowie ihre Vererzungstypen und Genese sind daher bislang nahezu unbekannt. Gestützt auf Literaturrecherchen und eigene Untersuchungen wird hier ein Überblick über die Lagerstätte gegeben.

## 2. Bergbaugeschichte

Nach einem Inventarverzeichnis aus dem Jahr 1638 soll der Bergbau im Brenntalwald um 1425 seinen Anfang genommen haben. Über die ersten Gewerke ist nicht mehr viel bekannt. Ab 1500 befindet sich das Bergwerk mit wechselnden Anteilen hauptsächlich im Besitz großer Augsburger Handelshäuser wie Stuntz, Ilsung, Arzt, Mül-

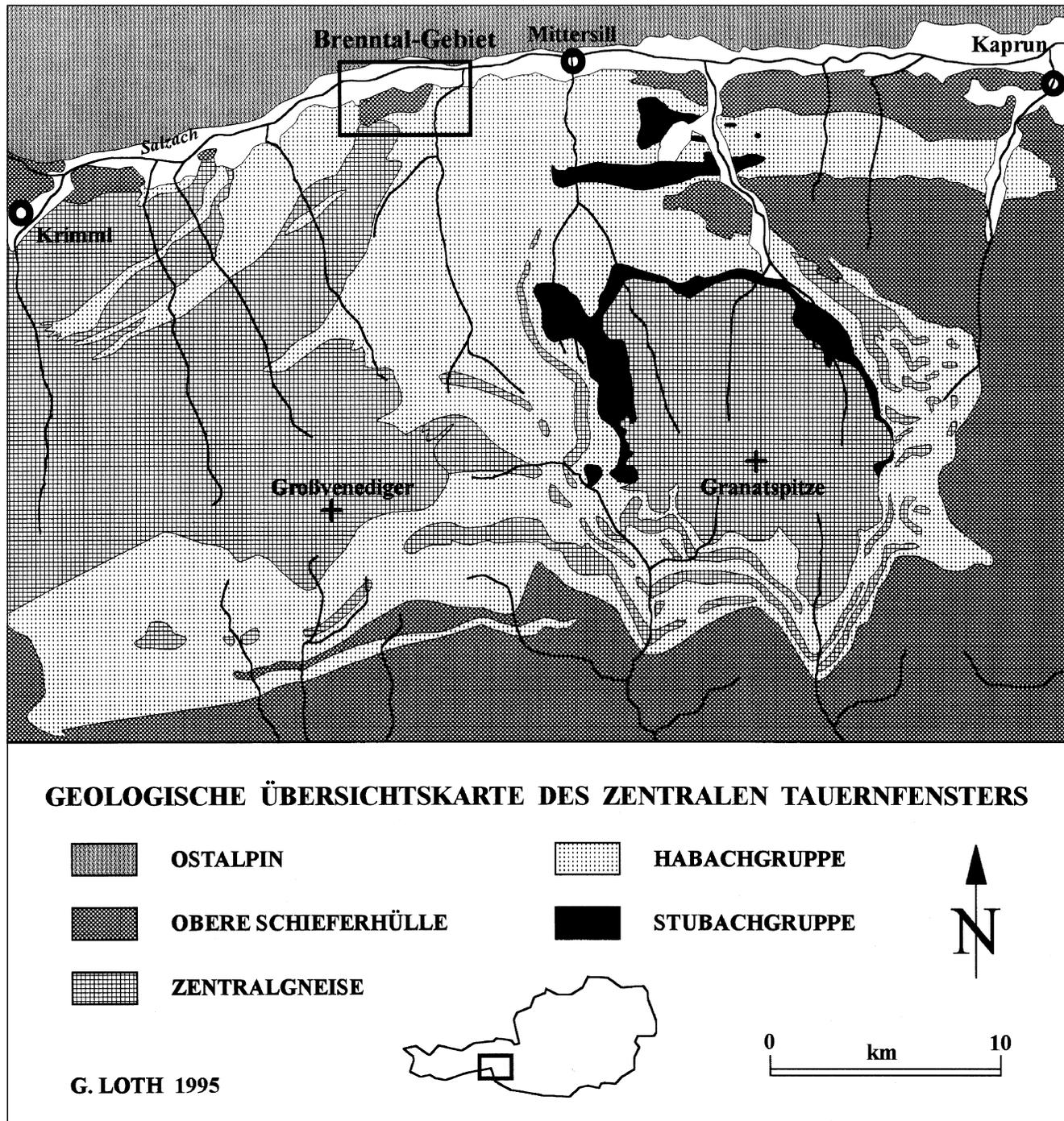


Abb. 1. Geologische Übersichtskarte des zentralen Tauernfensters mit der Lage des Brenntal-Gebietes (modifiziert nach SCHENK & HÖLL, 1989).

ler, Manlich, Hamann und anderer. 1638 kauft der Erzbischof von Salzburg das Bergwerk. Bis zu seiner Stilllegung im Jahre 1864 wird es in staatlicher Regie weitergeführt. Wiederaufgewältigungsversuche durch verschiedene Firmen zwischen 1909 und 1928 führten zu keinen nennenswerten Erfolgen. Noch 1946 erfolgte die Gewinnung von Ocker aus dem „Kalten Grübl“-Stollen durch die Salzburger Bergbau- und Tiefbohr GmbH. Danach fand kein Abbau mehr statt.

Den Anfang hat der Bergbau im östlichen Teil des Brenntalwaldes, in der Gegend zwischen dem „Brand“ im Hollersbachtal bzw. dem Vitlech-(Hopfersbach-)Graben und dem Dunkeltal (heute „Vögeigraben“) genommen, wo die Erze bis an die Oberfläche traten. Später folgte man dem nach Südwesten absinkenden Erzlager mit zahlreichen Stollen und Schächten bis etwa 100 m unter die Sohle des Salzachtales (nach ISSER [1909] im Sigmund-Stollen). Zum Bergwerk Brenntal werden auch 3 Stollen am Eingang des Hollersbachtals („Brandstollen“) sowie 2 Stollen im Steinbachgraben gerechnet. Insgesamt sind derzeit im Brenntalwald mehr als 30 Stollen mit etwa 40 km Streckenlänge aus der Literatur bekannt, davon konnten 18 Stollen bislang wieder aufgefunden werden. Nach Schätzungen betrug die Gesamtförderung 86.385 t im Zeitraum 1628–1863 (ISSER, 1909) bzw. zwischen 1500 und 1864 etwa 150.000 t Hauwerk (eigene Hochrechnung). Die durchschnittlichen Gehalte der Brenntaler Erze betragen 1–3 % Cu.

Bei der Erzgewinnung im Bergwerk Brenntal wurde früher sorgfältig zwischen verschiedenen Erzen unterschieden:

- „Stueferz“ oder „Mitlerz“ wurde das Reicherz genannt (Gehalte: bis 19 % Cu).
- Kupferkies in Quarz-reichem Muttergestein (Gehalte: ca. 2 % Cu).
- „Vitriolkies“ entspricht Chalkantit in meist Quarz-reichem oder schiefrigem Muttergestein (Gehalte: bis 0,5 % Cu); dieses Erz wurde überwiegend gelaugt.
- Schwefelkies (Pyrit) mit Gehalten bis 2 % Cu.

Als Kupferklein oder „Clien“ wurde das auf dem Scheidstein aussortierte Erz bezeichnet. Daneben waren noch verschiedene weitere Bezeichnungen je nach Herkunft und/oder Verwendung üblich, so z.B. Braunerz, Brucherz, Fürschlagerz, Grubeklein, Hüttenbruch usw. Sowohl die Bezeichnungen als auch die durch „Probieren“ ermittelten Gehalte der diversen Erztypen schwankten im Lauf der Zeit erheblich.

Bis etwa 1510 scheint das Brenntaler Erz vorwiegend nur zur Schwefel- und Kupfervitriolerzeugung genutzt worden zu sein. Danach wurde verstärkt auch Kupfer erschmolzen. Eine Aufbereitung durch Pochen und Waschen fand für die Brenntaler Erze nur sehr begrenzt statt. Meist wurden die Erze geröstet und zusammen mit Erzkonzentraten aus dem Untersulzbacher Kupferbergwerk „Hochfeld“, ab Ende des 18. Jh. auch vom Limberg und Kluken bei Zell am See sowie mit weiteren Zuschlägen verschmolzen. Der Höhepunkt der Reicherz-(Stueferz)-Förderung war gegen 1700 schon überschritten, und man mußte sich in der Folge auch den ärmeren Erzen zuwenden.

Kupfervitriol war zu allen Zeiten das Hauptprodukt des Berg- und Hüttenwerkes, dessen Qualität und Reinheit u.a. auf den Märkten in Augsburg, Nürnberg, Wasserburg und Rosenheim stets einen höheren Preis als die Ware der Konkurrenz erzielte.

Ab etwa 1750 wurde auch Ocker gewonnen, der im Rohzustand oder gebrannt als Holzschutzfarbe Verwendung fand. Zusätzlich wurden die sauren, kupferhaltigen Grubenwässer, wie auch am Limberg und Kluken, zur „Cementkupferproduktion“ (Abscheidung von Kupfer an Eisen über Ionenaustausch) benutzt. Mit dieser Produktpalette, zu der in den letzten Jahren vor der Schließung 1863/64 auch noch „Schusterschwärze“ (ein Fe-Cu-Vitriol) hinzukam, stellte das an sich kleine Bergwerk im ehemals abgelegenen, armen Oberpinzgau ein wichtiges Zentrum industrieller Tätigkeit dar, das direkt und indirekt mehrere hundert Einwohner mit Arbeit und Brot versorgte.

### 3. Geologischer Rahmen

Im Tauernfenster können drei Großeinheiten unterschieden werden: Die variszischen Intrusiva der Zentralgneise sowie die Untere und die Obere Schieferhülle (Abb. 1). Gesteine aller drei Einheiten sind im bearbeiteten Gebiet aufgeschlossen. Die Lagerstätte Brenntal befindet sich in einem Grenzbereich zwischen der Unteren und der Oberen Schieferhülle bzw. Orthogneisen der Habachzunge (Zentralgneise) (Abb. 2).

Das tektonisch tiefste Stockwerk stellen verschiedene Meta-Granitoide der Habachzunge als Teil der Zentralgneise dar. Diese intrudierten während der variszischen Gebirgsbildung in Gesteine der Habachgruppe.

Die Habachgruppe repräsentiert einen Teil der Unteren Schieferhülle und kann als oberproterozoischer bis altpaläozoischer Inselbogen bzw. aktiver Kontinentalrand interpretiert werden. Die ältesten bekannten Gesteine dieser Gruppe sind die Habachphyllite (um 600 Ma: REITZ & HÖLL, 1988; REITZ et al., 1989) sowie Orthogneise aus der Scheelitlagerstätte Felbertal (593±22 Ma: EICHHORN, 1995; EICHHORN et al., 1995). Im Bereich der Lagerstätte Brenntal wird die Habachgruppe von Habachphylliten, diversen basischen und leukokraten Metavulkaniten (KUPFERSCHMIED, 1994) sowie von Metadioriten (CARL, 1988; CARL et al., 1989) aufgebaut.

Im Bereich der Kupfer-Lagerstätte Brenntal treten Gesteine des Wenss-Veitlehener Mesozoikums (LOTH & KUPFERSCHMIED, 1993) auf. Eigene Arbeiten erlauben eine Deutung dieser Einheit als Teil der Oberen Schieferhülle, der mit tektonischem Kontakt auf Gesteinen der Habachgruppe und der Zentralgneise liegt (KUPFERSCHMIED, 1994).

### 4. Geologie der Lagerstätte

Aufgrund der heutigen schlechten Aufschlußverhältnisse erhält die Auswertung der verfügbaren Literatur besonderes Gewicht. Im 19. Jahrhundert entstanden drei Berichte über die Lagerstätte (WINDAKIEWICZ, 1853; PETERS, 1854; SCHMIDT, 1870), die wohl noch auf eigenen Untersuchungen vor der Schließung des Bergwerkes beruhen. Im 20. Jahrhundert entstanden mehrere kurze Gutachten zur Höffigkeit der Lagerstätte. Die Aussagen zu den Gesteinen im Umfeld sind jedoch widersprüchlich. Auf die Genese der Erzkörper wurde kaum eingegangen.

#### 4.1. Lithologie

Nach WINDAKIEWICZ (1853), PETERS (1854), SCHMIDT (1870) und HAMMER (1935) schließt nördlich des Wenss-

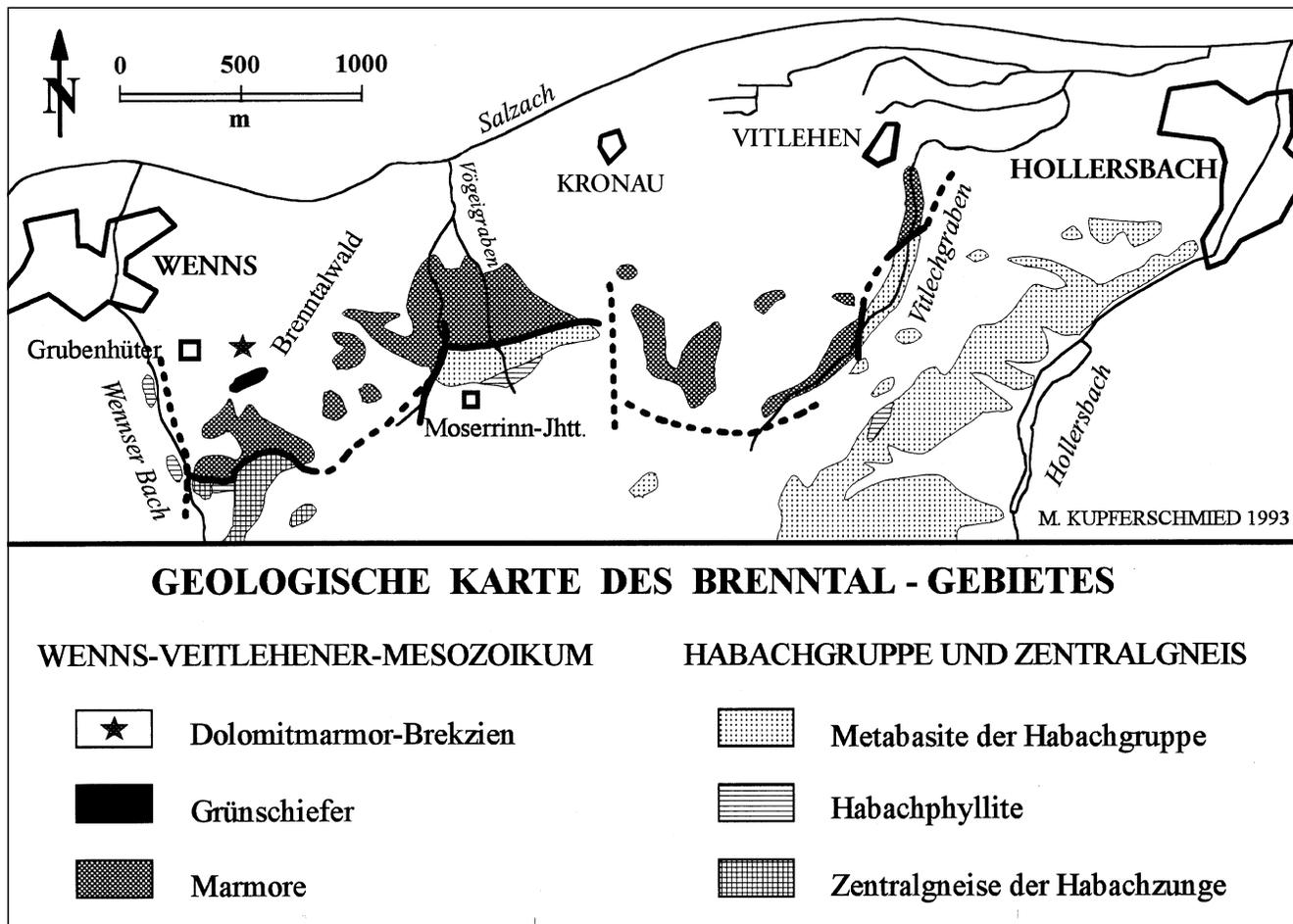


Abb. 2.  
Geologische Karte des Brenntal-Gebietes.

Veitlehener Marmores eine Einheit mit folgenden Gesteinen an: Vorwiegend dunkle Schiefer bzw. Phyllite, linsenförmige Gipsvorkommen sowie Karbonateinschaltungen (Kalke und Dolomite).

In diesem Bereich sind des weiteren Karbonat-Brekzien und Karbonat-führende Grünschiefer bekannt (LOTH & KUPFERSCHMIED, 1993; KUPFERSCHMIED, 1994). Von SCHMIDT (1870) wird eine Serpentin-Linse beschrieben.

Innerhalb des Wensns-Veitlehener Marmorzuges finden sich verschiedene Kalk- und Dolomitmarmore. Das triassische Alter der Marmore ist durch Fossilfunde von FRASL (1953) und FISCHER (1955) belegt.

Südlich des Marmorzuges folgen nach WINDAKIEWICZ (1853), PETERS (1854) und SCHMIDT (1870) grüne, chlorit-reiche Glimmerschiefer, die karbonatreich sein können. In diesen Gesteinen finden sich die Erzkörper der Lagerstätte Brenntal. Im Gebiet nördlich der Moserrinn-Jagdhütte stehen derartige Gesteine an der Oberfläche an.

Proben dieser Gesteine aus dem Stollen Unser-Lieben-Frau sowie von den Mundlöchern der Stollen St. Johann-Evangelist und St. Lucia wurden von uns petrographisch und geochemisch untersucht (Kap. 4.2.).

Südlich dieser Grünschiefer erwähnt bereits PÜRCHNER (1642) eine bergtechnisch sehr schwierige Zone. Diese wahrscheinlich phyllitische Gesteinszone wurde nie von einem Stollen durchfahren. Im Bereich der Moserrinn-Jagdhütte stehen an der Oberfläche Phyllite an, die zur Habachgruppe gestellt werden.

#### 4.2. Erzführende Grünschiefer

Die erzführende Gesteins-Abfolge steht im Bereich zwischen der Moserrinn-Jagdhütte und dem Wensns-Veitlehener Mesozoikum sowie am Ausgang des Hollersbachtals an.

Sie wird im wesentlichen aufgebaut von verschiedenen Grünschiefern mit Chlorit, Biotit, Albit, Quarz, Karbonat, Erz und Apatit. Durch zunehmenden Hellglimmer-Gehalt entstehen deutlich geschieferte Grünschiefer bzw. Chlorit-Serizit-Schiefer. Letztere führen neben den oben genannten Mineralen auch Turmalin und Rutil. Seltene, cm-mächtige, konkordant eingelagerte Turmalinite wurden in diesen Gesteinen im vorderen Hollersbachtal gefunden (KUPFERSCHMIED, 1994). Insgesamt scheint es sich bei der erzführenden Einheit um basische Meta-Tuffe bis Meta-Tuffite zu handeln.

Für die Habachgruppe im Bereich zwischen Hollersbach- und Habachtal sind insbesondere die Chlorit-Serizit-Schiefer nicht typisch.

Aufgrund der ungünstigen Aufschlußverhältnisse kann die mögliche Zugehörigkeit der erzführenden Grünschiefer des Brenntal-Gebietes zur Habachgruppe im Gelände nicht eindeutig geklärt werden. Kupfer-Lagerstätten sind im Tauernfenster sowohl aus der Habachgruppe (FRIEDRICH, 1953; SEEMANN et al., 1993) als auch aus der Bünderschiefer-Formation der Oberen Schieferhülle (FRIEDRICH, 1953; DERKMANN & KLEMM, 1977, 1979) bekannt.

Um eine eventuelle Zugehörigkeit der erzführenden Abfolge zur benachbarten Oberen Schieferhülle zu überprüfen

Tabelle 1.  
Geochemische  
Analysen (RFA) von  
Grünschiefern aus  
dem Wennis-Veitlehener  
Mesozoikum  
(„WVM“) und der  
erzführenden Ab-  
folge der Lager-  
stätte Brenntal (aus  
den Stollen „St. Jo-  
hann Evangelist“  
und „Unser lieben  
Frau“).

	BRE 5 Grünschiefer St. Johann Ev.	BRE 7 Grünschiefer WVM	BRE 8 Grünschiefer WVM	BRE 9 Grünschiefer Unser lieb. Frau	BRE 14 Grünschiefer WVM	
SiO <sub>2</sub>	44,88	65,58	67,13	52,17	66,53	[Gew. %]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,64	15,45	15,78	16,51	15,83	[Gew. %]
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,95	5,39	5,59	12,62	5,76	[Gew. %]
MgO	9,76	2,54	2,08	8,76	2,11	[Gew. %]
CaO	5,93	2,41	0,86	2,56	1,40	[Gew. %]
Na <sub>2</sub> O	2,17	4,33	4,98	4,52	4,62	[Gew. %]
K <sub>2</sub> O	1,18	2,22	2,07	0,24	2,24	[Gew. %]
MnO	0,16	0,09	0,08	0,13	0,08	[Gew. %]
TiO <sub>2</sub>	2,22	0,33	0,63	1,69	0,64	[Gew. %]
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,17	0,16	0,26	0,16	[Gew. %]
Summe	98,09	98,51	99,36	99,46	99,37	[Gew. %]
Glühverlust	8,60	4,17	2,78	5,38	3,25	[%]
Sc	55	22	11	47	18	[ppm]
V	246	141	134	208	138	[ppm]
Cr	194	34	29	61	28	[ppm]
Co	33	46	47	27	22	[ppm]
Ni	84	4	4	23	4	[ppm]
Cu	14	40	37	217	37	[ppm]
Zn	61	146	161	139	138	[ppm]
Ga	20	19	18	18	20	[ppm]
Rb	82	74	49	9	55	[ppm]
Sr	71	90	36	22	32	[ppm]
Y	23	23	24	7	23	[ppm]
Zr	111	169	165	108	174	[ppm]
Nb	3	16	16	1	16	[ppm]
Ba	1.048	676	526	58	563	[ppm]
Hf	5	8	9	5	9	[ppm]
Ta	2	9	8	3	7	[ppm]
Pb	16	43	47	13	52	[ppm]
Th		11	11		13	[ppm]
U		2	3		3	[ppm]

fen, wurden Proben relativ massiger, Serizit-armer Grünschiefer aus den Stollen des Bergbaues Brenntal nördlich der Moserrinn-Jagdhütte geochemisch untersucht. Diese Ergebnisse wurden mit Analysen der Grünschiefer aus dem Wennis-Veitlehener Mesozoikum sowie mit Literaturangaben von Metabasiten der Bündnerschiefer-Formation und der Habachgruppe verglichen. Die geochemischen Analysen der eigenen Proben sind Tab. 1 zu entnehmen.

Nach den Diagrammen von FLOYD & WINCHESTER (1975) sowie WINCHESTER & FLOYD (1976) zur Trennung von Alkali-Basalten und „Tholeiit-Basalten“ lassen sich sowohl die Proben des Lagerstättenbereiches als auch die Proben aus dem Wennis-Veitlehener Mesozoikum als nicht-alkalisch klassifizieren. Nach der TAS-Klassifikation von LE BAS et al. (1986) und LE MAITRE et al. (1989) ergeben sich für die untersuchten Grünschiefer der erzführenden Abfolge Basalte als Ausgangsgesteine. Zu gleichen Ergebnissen führt die Auswertung nach WINCHESTER & FLOYD (1977). Der hohe SiO<sub>2</sub>-Gehalt der Grünschiefer des Wennis-Veitlehener Mesozoikums deutet auf eine Vermengung des vulkanogenen Materials mit Sedimenten hin. Dadurch erscheint eine weitere geochemische Klassifikation dieser Gesteine als nicht sinnvoll. Im K<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>-Diagramm zur weiteren Unterteilung subalkalischer Gesteine ergibt sich für die untersuchten Grünschiefer der erz-

führenden Abfolge der Lagerstätte Brenntal ein „low-K-tholeiitischer“ bzw. ein „high-K-kalkalkalischer“ Charakter nach RICKWOOD (1989) und LE MAITRE et al. (1989). Diese Eigenschaft stimmt gut mit Metabasiten der Habachgruppe überein.

Im MORB-normierten Spider-Diagramm zeigen sich auch gute Übereinstimmungen mit den Habachgruppen-Metabasiten (Abb. 3a). Mit den Metabasiten der Bündnerschiefer-Formation können dagegen keine Ähnlichkeiten festgestellt werden (Abb. 3b).

Die Grünschiefer der erzführenden Abfolge können geochemisch als ehemalige Basalte eines Inselbogens bzw. eines aktiven Kontinentalrandes interpretiert werden. Die vorliegenden geochemischen Analysen unterstützen die Annahme, daß die Vererzung der Lagerstätte Brenntal an Grünschiefer der Habachgruppe gebunden ist.

### 4.3. Vererzungstypen

Nach PÜRCHNER (1642) und WINDAKIEWICZ (1853) existieren in der Lagerstätte Brenntal drei etwa Ost–West streichende Haupterzlager. Diese Lager bestehen aus einzelnen, z.T. zusammenhängenden, linsenförmigen Erzkörpern. Die Erzlager scheinen nach den Angaben von PÜRCHNER (1642) im östlichen Teil des Bergwerkes

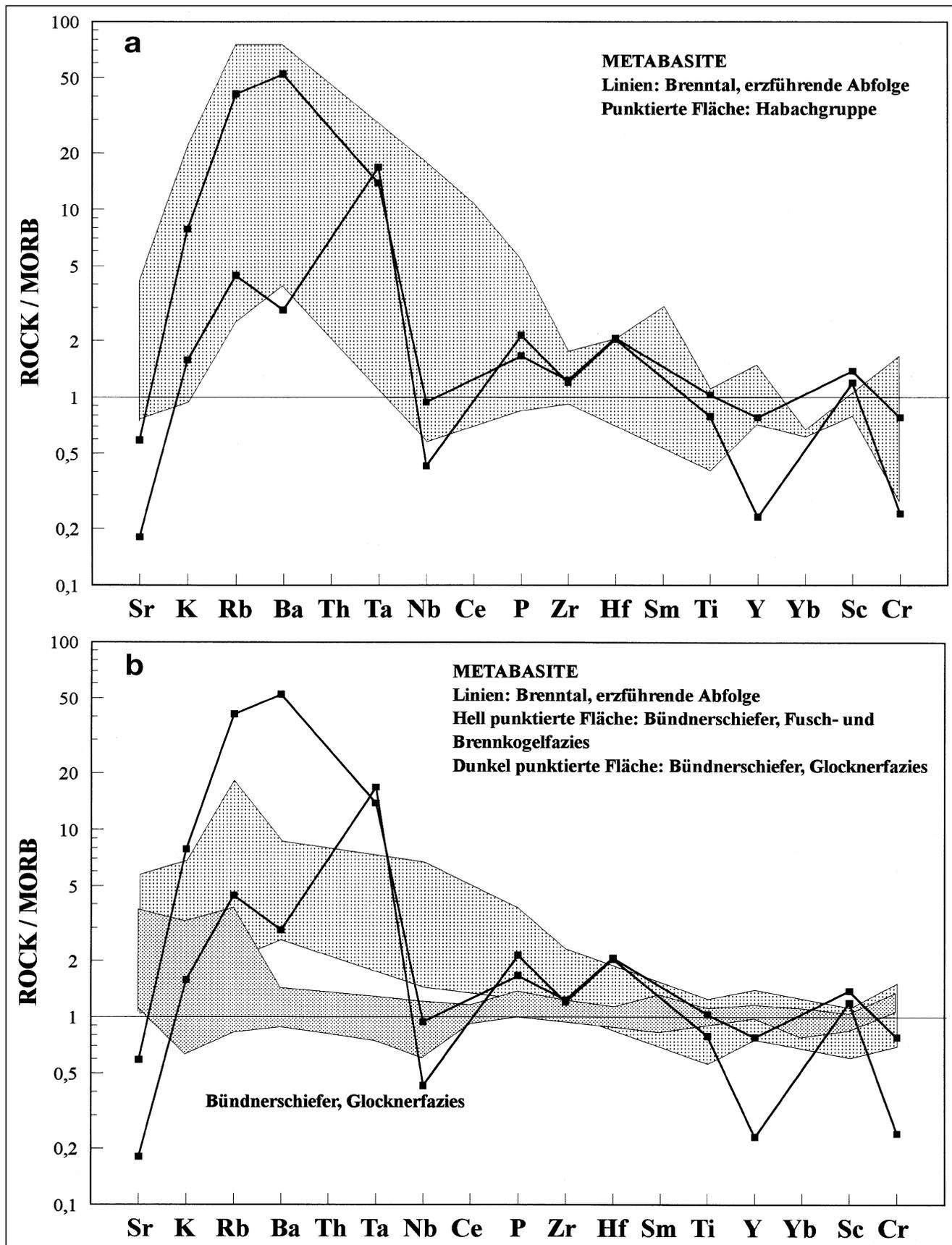


Abb. 3. Vergleich der Metabasite der erzführenden Abfolge der Kupferlagerstätte Brenntal und der Habachgruppe (a; ohne Scheelitlagerstätte Felbertal) und der Bündnerschiefer-Formation (b).

a) MORB-Normwerte nach PEARCE (1982); Daten der Habachgruppe aus STEYRER & HÖCK (1985), GNIELINSKI (1988), SEEMANN & KOLLER (1989) und HÖCK et al. (1993).

b) MORB-Normwerte nach PEARCE (1982); Daten von Metabasiten aus der Bündnerschiefer-Formation aus BICKLE & PEARCE (1975), HÖCK (1983), HÖCK & MILLER (1987) und HÖCK & SCHARBERT (1989).

nach Norden, im westlichen Teil nach Süden einzufallen. Anstehendes Erz findet sich heute in den „Brandstollen“ am Ausgang des Hollersbachtals. Es handelt sich hier um eine stratiforme Vererzung in Grünschiefern und cm-mächtigen Quarz-reichen Lagen. Genauere Angaben über diesen Vererzungstyp in weiter westlich liegenden Lagerstättenbereichen lassen sich derzeit noch nicht machen. Bessere Aufschlußverhältnisse würden eine zukünftige Untersuchung dieses Vererzungstyps ermöglichen.

Die Erze der Lagerstätte Brenntal wurden mindestens einmal remobilisiert: Im gesamten Gebiet finden sich sulfidische Erze zusammen mit Ankerit, gebunden an Quarzknuern in Bewegungsbahnen. Dieser mengenmäßig unbedeutende Vererzungstyp zeigt keine signifikante Deformation. Vermutlich handelt es sich um eine junge (spätalpidische) Remobilisation.

## 5. Erzminerologie

Folgende Erzminerale konnten bislang nachgewiesen werden: Pyrit, Magnetkies, Kupferkies, Arsenkies, Zinkblende, Bleiglanz, Hämatit, Limonit, Markasit, Covellin, Kupferglanz, Malachit und Azurit.

Die stratiforme Vererzung (1. Vererzungstyp) tritt entweder als fein disseminierte, schnurartig angelegte stratiforme Sulfidlagen in den Grünschiefern und feinkörnigen Quarziten auf oder als massive Kieserzlagen, die konkordant in die Grünschiefer eingelagert sind. Die Erzminerale sind während der Metamorphose vollständig rekristallisiert und bilden bis mehrere cm große Kristalle. Diese rekristallisierten Erzminerale stellen die älteste noch nachweisbare Erzgeneration dar. Sie besteht überwiegend aus Pyrit, Magnetkies, Kupferkies und Arsenkies. Zinkblende und Bleiglanz sind selten. Pyrit bildet (hyp)idiomorphe Kristalle. Die anderen Minerale sind meist xenomorph ausgebildet. Arsenkies zeigt sich in Form von einigen 100 mm dicken, mehrere mm langen Kornaggregaten parallel zur Schieferung.

Nach der Rekristallisation wurden die Erze kataklatisch zerbrochen. Die Brüche verheilten mit Sulfiden, Limonit, Hämatit und Quarz.

In den jüngeren Bewegungsbahnen, welche die stratiforme Vererzung durchschlagen, tritt als jüngste Bildung eine an Quarzmobilisate gebundene Vererzung auf (2. Vererzungstyp). Der Mineralbestand dieser quarzgebundenen Vererzung umfaßt Kupferkies, Ankerit, Pyrit und Magnetkies. Zinkblende ist selten. Diese Erze wurden kaum deformiert und von keiner signifikanten Kataklyse beeinflusst.

Durch supergene Alteration bildeten sich Limonit sowie Kupferverwitterungsminerale wie Covellin, Kupferglanz, Malachit und Azurit. Häufig sind Limonitsäume um die primären Erzminerale. Auf die supergene Alteration ist vermutlich auch der Zerfall von Magnetkies zu Markasit und Limonit mit sogenannten „Birds Eyes“-Strukturen zurückzuführen. Im Extremfall wurden die Erzminerale vollständig zu Eisenocker und Kupferverwitterungsmineralen zerlegt.

## 6. Flüssigkeitseinschluß-Untersuchungen

Die erzführenden Quarzknuern im Bereich der Lagerstätte Brenntal (2. Vererzungstyp; Kap. 4.3. und 5.) enthalten neben zahlreichen sekundären auch primäre Flüssigkeitseinschlüsse. Diese liegen nicht entlang von Korngrößen oder Bruchflächen, sondern einzeln oder in klei-

nen Gruppen in den einzelnen Quarzkristallen. Die primären Flüssigkeitseinschlüsse besitzen meist die Form von Negativkristallen und weisen eine zweiphasige, wässrige Fluidfüllung mit hohem Füllgrad auf. Eine zusätzliche Gasphase (z.B. CO<sub>2</sub>) war nicht feststellbar. Es konnten keine Anzeichen für Siedevorgänge während der Bildung der Einschlüsse gefunden werden. Etwa 20 % aller Einschlüsse enthalten teilweise idiomorphe, opake Kristalle, höchstwahrscheinlich Sulfide (Abb. 4). Diese Kristalle sind bis 500°C nicht in das Fluid zu homogenisieren. Sie werden als heterogen eingefangene Festkörper während der Quarz- und Erzabscheidung interpretiert. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß die Flüssigkeitseinschlüsse tatsächlich mit der Vererzung in genetischem Zusammenhang stehen.

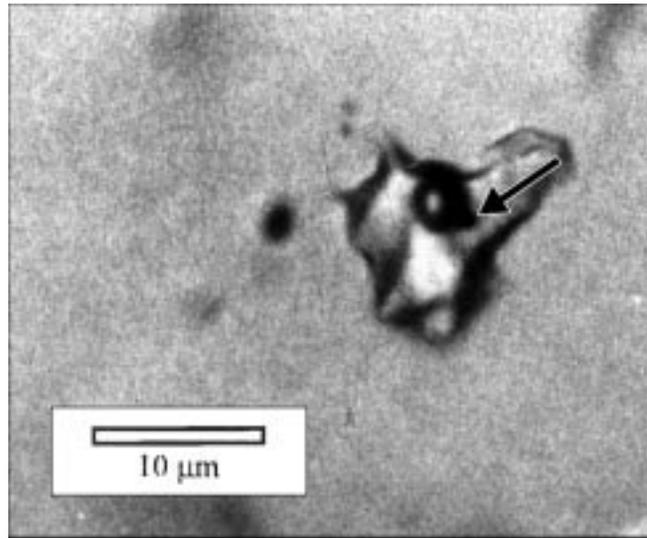
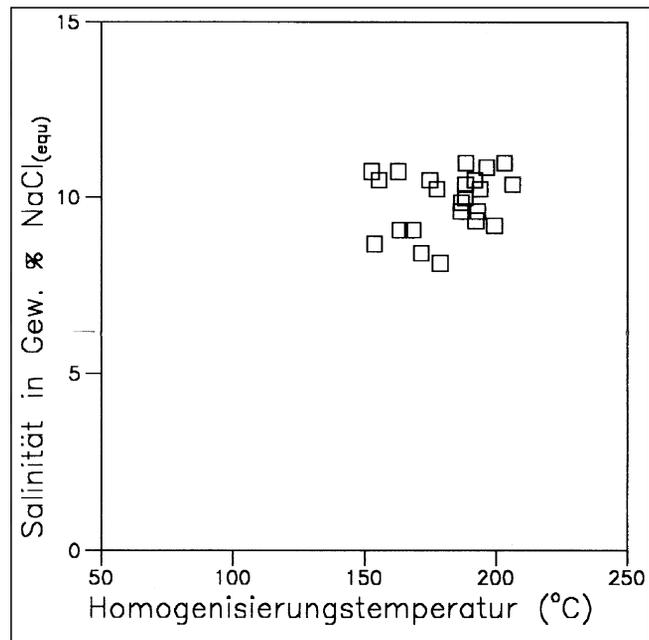


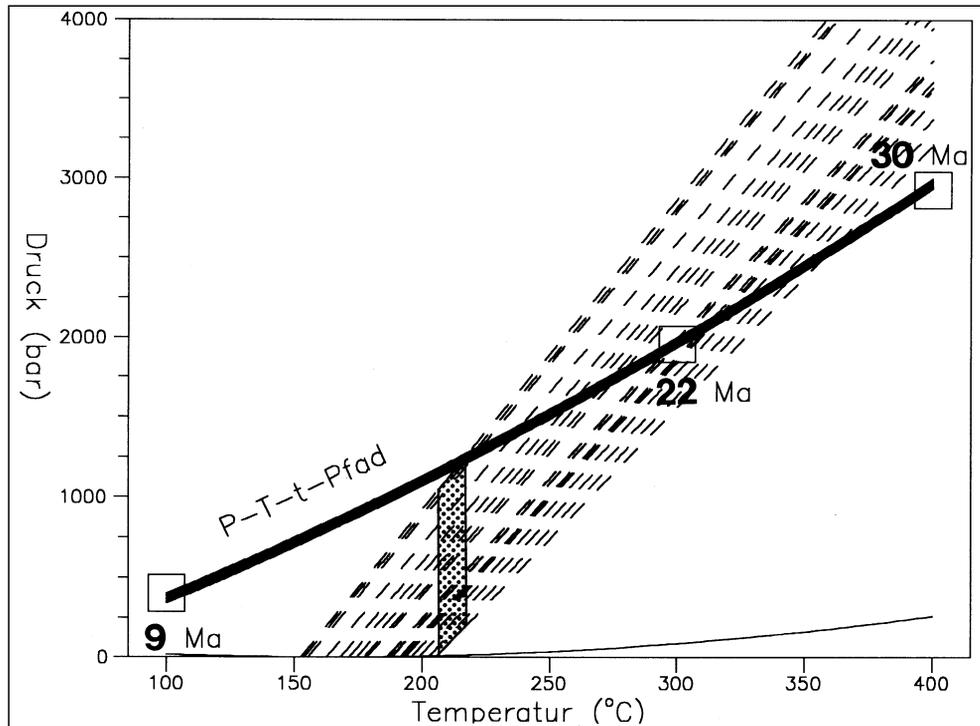
Abb. 4. Foto eines primären Flüssigkeitseinschlusses in einem Quarzmobilisat des 2. (remobilisierten) Vererzungstyps. Heterogen eingefangener Sulfid-Festkörper-Einschluß mit Pfeil markiert.

Abb. 5.



Salinität und Homogenisierungstemperatur der primären Flüssigkeitseinschlüsse der quarzgebundenen Vererzung. Nur eine Einschluß-Population ist zu erkennen.

Abb. 6.  
Isochoren der primären Flüssigkeitseinschlüsse der quarzgebundenen Vererzung, berechnet nach ZHANG & FRANTZ (1987).  
Der Bildungsbereich der Einschlüsse liegt in dem markierten Bereich. P-T-t-Pfad von NWE & GRUNDMANN (1990).



Alle phänomenologisch als primär angesprochenen Flüssigkeitseinschlüsse weisen eine ähnliche Zusammensetzung auf (Abb. 5). Sie zeigen eutektisches Schmelzen bei ca.  $-37^{\circ}\text{C}$ , die Eisphase verschwindet zwischen  $-7^{\circ}\text{C}$  und  $-5^{\circ}\text{C}$ . Dies deutet auf komplexe,  $\text{FeCl}_2$ - $\text{NaCl}$ -führende Fluide mit niedriger Salinität hin (SHEPHERD et al., 1985). Die Salinität schwankt zwischen ca. 8 und 11 Gew.-%  $\text{NaCl}_{(\text{equ})}$  (berechnet nach BODNAR [1993]).

Die Homogenisierungstemperatur liegt zwischen  $150^{\circ}\text{C}$  und  $210^{\circ}\text{C}$ , die Einschlüsse homogenisieren ausnahmslos in die flüssige Phase. Die Bildungstemperatur für die quarzgebundene Vererzung ist daher höher als  $210^{\circ}\text{C}$  anzusetzen.

Vergleicht man die nach der Formel von ZHANG & FRANTZ (1987) berechneten Isochoren dieser Flüssigkeitseinschlüsse mit dem von NWE & GRUNDMANN (1990) aufgestellten P-T-t-Pfad für die 5 km südlich gelegene Smaragd-Lagerstätte Habachtal, so schneiden diese Isochoren den Pfad bei Temperaturen über  $230^{\circ}\text{C}$ . Bei der Interpretation wurde davon ausgegangen, daß sich der retrograde P-T-t-Pfad im Bereich der Lagerstätte Brenntal nicht signifikant von dem Pfad der Smaragd-Lagerstätte Habachtal (NWE & GRUNDMANN, 1990) unterscheidet. Die Bildungstemperatur läßt sich unter dieser Annahme in den Bereich zwischen  $210^{\circ}\text{C}$  und  $230^{\circ}\text{C}$ , der Bildungsdruck zwischen 20 und 1200 bar eingrenzen. Das Alter der Vererzung kann nach diesem P-T-t-Pfad auf ca. 15 Ma abgeschätzt werden (Abb. 6). Die Genauigkeit dieser Daten ist aber von der Genauigkeit der P-T-t-Pfades und der Isochoren sowie der Gültigkeit des P-T-t-Pfades für die Lagerstätte Brenntal abhängig. Jedoch erscheint ein erheblich höheres Alter, eventuell in Zusammenhang mit dem alpinen Metamorphosehöhepunkt vor ca. 35 Ma ausgeschlossen. Darauf weist auch das im wesentlichen undeformierte Gefüge der Erze sowie der Quarze hin.

## 7. Schlußfolgerungen

Die Genese der stratiformen Vererzung ist zur Zeit noch nicht genau zu bestimmen. Dieser Vererzungstyp stellt möglicherweise eine exhalative, vulkanosedimentäre Vererzung des SEDEX-Typen i.w.S. dar. Ähnliche Lagerstätten sind im Tauernfenster weit verbreitet (FRIEDRICH, 1953; SEEMANN et al., 1993). Eine syngenetische Entstehung der Lagerstätte Brenntal wird von SCHMIDT (1870) und AIGNER (1938) befürwortet, jedoch nicht näher begründet.

Die quarzgebundene Vererzung liegt in tektonischen Bewegungsbahnen. Die Vererzung ist jedoch altersmäßig jünger als die Anlage der Bewegungsbahnen. Offensichtlich bildeten sich die Quarzknuern später in den Schwächezonen aus, die diese Bewegungsbahnen darstellen. Dabei wurden aus dem Stoffbestand der stratiformen Vererzung die Erzmehalle der quarzgebundenen Vererzung mobilisiert. Die quarzgebundene Vererzung wurde bei einer Temperatur von ca.  $220^{\circ}\text{C}$  und in einem Druckbereich zwischen 20 und 1200 bar gebildet. Das Alter läßt sich mit ca. 15 Ma abschätzen. Dies stellt auch einen Hinweis auf Extensionstektonik im Zusammenhang mit der Hebung des Tauernfensters zu diesem Zeitpunkt dar.

## Literatur

- AIGNER: Schwefelkiesvorkommen Brenntal bei Mühlbach im Pinzgau. – Unveröffentlichter Bericht, 1938.
- BERNADEK, K.: Brenntal: Schwefelkies – Kupferkies. – Unveröffentlichtes Gutachten, 1948.
- BICKLE, M.J. & PEARCE, J.A.: Oceanic mafic rocks in the Eastern Alps. – *Contrib. Mineral. Petrol.* **49**, 177–189, Berlin u.a. 1975.
- BODNAR, R.J.: Revised equation and table for determining the freezing point depression of  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}$  solution. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **57**, 683–684, Oxford 1993.
- CARL, R.R.B.: Die Geologie der vorderen Hollersbachtal-Westseite (Scharntal), Bundesland Salzburg / Österreich: Untersuchungen zur Petrologie, Lagerstättenkunde, Isotopengeochemie. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, 138 S., Univ. München 1988.
- CARL, R.R.B., HÖLL, R. & SCHROLL, E.: Ein Metadioritvorkommen in der Habachformation westlich der Achselalm / Hollersbachtal (Hohe Tauern, Österreich). – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **81** (1988), 123–132, Wien. 1989.
- EICHHORN, R.: Isotopengeochemische und geochronologische Untersuchungen an Gesteinen und Mineralen der Scheelit-Lagerstätte Felbertal (Land Salzburg, Österreich). – *Münchner Geol. Hefte*, **15**, 78 S., München 1995.

- EICHHORN, R., SCHÄRER, U. & HÖLL, R.: Age and evolution of scheelite-hosting rocks in the Felbertal deposit (Eastern Alps): U-Pb geochronology of zircon and titanite. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **119**, 377–386, Berlin u.a. 1995.
- FISCHER, H.: Der Wensns-Veitlehener-Kalk-Marmorzug (Beitrag zur Geologie des Tauernnordrandes). – *Verh. Geol. B.-A.* **1955**, 187–197, Wien 1955.
- FLOYD, P.A. & WINCHESTER, J.A.: Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **27**, 211–218, Amsterdam 1975.
- FRASL, G.: Die beiden Sulzbachzungen (Oberpinzgau, Salzburg). – *Jb. Geol. B.-A.*, **96**, 143–192, Wien 1953.
- FRIEDRICH, O.M.: Zur Erzlagerstättenkarte der Ostalpen. – *Radex-Rundschau*, **1953**, 371–407, Radenthein 1953.
- GNIELINSKI, F.V.: Petrographische, geochemische und tektonische Untersuchungen im Dreieck „Hollersbach – Wensns/Bramberg – Mahdleitengipfel“ im Pinzgau, Land Salzburg, Österreich. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, 224 S., Univ. München 1988.
- HAMMER, W.: Der Tauernnordrand zwischen Habach- und Hollersbachtal. – *Jb. Geol. B.-A.*, **85**, 1–19, Wien 1935.
- HÖCK, V.: Mesozoic ophiolites and non-ophiolitic metabasites in the central part of the Tauern Window (Eastern Alps, Austria). – *Ophioliti*, **8**, 103–126, Bologna 1983.
- HÖCK, V., KRAIGER, H. & LETTNER, H.: Oceanic vs continental origin of the Paleozoic Habach Formation in the vicinity of the Felbertal scheelite deposit (Hohe Tauern, Austria): A geochemical approach. – *Abh. Geol. B.-A.*, **49**, 79–95, Wien 1993.
- HÖCK, V. & MILLER, C.: Mesozoic ophiolitic sequences and non-ophiolitic metabasites in the Hohe Tauern. – In: FLÜGEL, H.F. & FAUPL, P. (eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 16–33, Wien (Deuticke) 1987.
- HÖCK, V. & SCHARBERT, S.: Metabasalts from the central part of the Hohe Tauern (Austria): Genetic implications from Sr-isotope and trace element studies. – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **81** (1988), 151–165, Wien 1989.
- ISSER, M.V.: Die Kupfererzvorkommen im Salzburg. Oberpinzgau in Österreich. – *Techn. Zentralbl. für Berg-, Hütten- und Masch.bau* 19, Nr. 28, 30, 32, 35, 37, Berlin 1909.
- KUPFERSCHMIED, M.P.: Geologische Untersuchungen im Tauernfenster zwischen Hollersbachtal und Krimmler Achenal. – *Münchner Geol. Hefte*, **12**, 160 S., München 1994.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B.: A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. – *J. Petrol.*, **27**, 745–750, Oxford 1986.
- LE MAITRE, R.W., BATEMAN, P., DUDEK, A., KELLER, J., LAMEYRE, LE BAS, M.J., SABINE, P.A., SCHMID, R., SORENSEN, H., STRECKEISEN, A., WOOLLEY, A.R. & ZANETTIN, B.: A classification of igneous rocks and a glossary of terms. – Oxford (Blackwell) 1989.
- LOTH, G. & KUPFERSCHMIED, M.P.: Die tektonische Stellung des Wensns-Veitlehener-Marmorzuges (Tauernfenster). – *Jb. Geol. B.-A.*, **136**, 475–478, Wien 1993.
- NWE, Y.Y. & GRUNDMANN, G.: Evolution of metamorphic fluids in shear zones: The record from the emeralds of Habachtal, Tauern Window, Austria. – *Lithos*, **25**, 281–304, Amsterdam 1990.
- PEARCE, J.A.: Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. – In: THORPE, R.S. (ed.): *Andesites*, Wiley, New York u.a. 1982.
- PETERS, K.: Die geologischen Verhältnisse des Oberpinzgaus, insbesondere der Zentralalpen. – *Jb. k.k. Geol. R.-A.*, **5**, 766–808, Wien 1854.
- PURCHNER, M.: Beschreibung der Schünkarte vom Brenntal. – *Salzburger Landesarchiv, Bergwesen, Mappen-Sammlung, Rubr. XIV nr. 11 ad 5*, 1642.
- REITZ, E., DANECK, T. & MILLER, H.: Ein Nachweis jungproterozoischen Alters von Schwarzphylliten am Tauern-Nordrand (Salzburg, Österreich) und seine Bedeutung für den Bau der Hohen Tauern. – *Jb. Geol. B.-A.*, **132**, 751–760, Wien 1989.
- REITZ, E. & HÖLL, R.: Jungproterozoische Mikrofossilien aus der Habachformation in den mittleren Hohen Tauern und im nordostbayerischen Grundgebirge. – *Jb. Geol. B.-A.*, **131**, 329–340, Wien 1988.
- RICKWOOD, P.C.: Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. – *Lithos*, **22**, 247–263, Amsterdam 1989.
- SCHMIDT, A.R.: Ueber die Kupferbergbaue im Pinzgau. – *Österr. Zeitschr. für Berg- u. Hüttenwesen*, Jg. **18**, H. 23, 163–165, Wien 1870.
- SEEMANN, R. & KOLLER, F.: Petrographic and geochemical investigations in the Knappenwand area, Habach Formation (Tauern Window, Austria). – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **81** (1988), 109–122, Wien 1989.
- SEEMANN, R., KOLLER, F., GRUNDMANN, G., BRANDSTÄTTER, F. & HEJL, E.: Die Kupferlagerstätte „Hochfeld“ – ein Teilprofil der Habachformation im Untersulzbachtal (Salzburg). – *Abh. Geol. B.-A.*, **49**, 49–66, Wien 1993.
- SHEPHERD, T.J., RANKIN, A.H. & ALDERTON, D.H.M.: A practical guide to fluid inclusion studies. – 239 S., Glasgow (Blackie) 1985.
- STEYRER, H.P. & HÖCK, V.: Geochemistry of the metabasites in the Habach Formation (Salzburg, Hohe Tauern, Austria): A preliminary report. – *Ophioliti*, **10**, 441–455, Bologna 1985.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A.: Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **28**, 459–469, Amsterdam 1976.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A.: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. – *Chem. Geol.*, **20**, 325–343, Amsterdam 1977.
- WINDAKIEWICZ, E.: Bergbau Brenntal und seine Umgebung (Salzburg). – *Österr. Zeitschr. für Berg- u. Hüttenwesen*, **47**, 369–371, Wien 1853.
- ZHANG, Y.-G. & FRANTZ, J.D.: Determination of the homogenisation temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. – *Chem. Geol.*, **64**, 335–350, Amsterdam 1987.