

Metamorphe, hydrothermale Eruptionsbrekzien in der Scheelitlagerstätte Felbertal/Ostalpen (Österreich)

Von P. SCHENK und R. HÖLL*)

Mit 9 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Metamorph-hydrothermale Eruptionsbrekzien wurden von uns im Westfeld der Scheelitlagerstätte Felbertal entdeckt. Sie gehören zum Erzkörper K 2 und überlagern als ein Horizont einen großflächigen, stratiformen Quarzitkörper sowie umgebende Amphibolite. Der Quarzitkörper zeigt auffallende Ähnlichkeiten mit Kieselsintern in rezenten Explosionskratern. Der Horizont mit metamorphen, hydrothermalen Eruptionsbrekzien weist eine Mindesterstreckung von 100 m auf. Seine Komponenten belegen die Präexistenz von scheelitführenden Quarzmassen (ehemaligen Kieselsintern) sowie einer bimodalen Gesteinsassoziation mit mafischen und leukokraten Magmatiten. Die Komponenten sind unterschiedlich groß und zeigen variable Rundungsgrade sowie eine tektonische Längung. Der Volumenanteil der Gesteinskomponenten in der fein- bis mittelkörnigen Grundmasse nimmt seitlich vom Quarzitkörper rasch ab. Die Grundmasse weist eine Anreicherung der Elemente W, F, Sn, Mo, Li, Rb, Be, Cs, Ba, As, P, Au, Th und U auf. Sie wird als feinkörnige Auswurfmasse aufgefaßt, die auf einer submarinen Oberfläche hydrothermalen Alterations- und Vererzungsvorgängen unterworfen war.

Abstract

Metamorphosed hydrothermal explosion breccias have been found recently in the Western Field of the Felbertal Scheelite Deposit. These rocks are an intrinsic part of the K 2 orebody. They form a particular horizon and overlie an extensive mass of stratiform quartzite and the amphibolitic rocks around it. This quartzite mass has striking similarities to silica sinters in recently-formed explosion craters like those of the Waiotapu and Waimangu Geothermal System in New Zealand. The horizon with the breccias has a strike length of at least 100 m. The breccia clasts consist of fragments of mafic and felsic igneous rocks and massive quartzite from the underlying strata. The clasts show great variation in their size and degree of rounding and have been tectonically stretched. Within this breccia horizon the number of clasts decreases rapidly away from the quartzite mass, and the medium- to fine-grained gneissic groundmass is interpreted as an alteration product associated with explosive,

*) Adresse der Verfasser: Prof. Dr. Rudolf HÖLL und Dipl.-Geol. Peter SCHENK: Institut für Allgem. und Angew. Geologie der Universität, Luisenstr. 37, D-8000 München 2, BRD.

volcanic-hydrothermal activity. The development of the metamorphosed breccias suggests:

- at least one period of explosive volcanic activity with accompanying hydrothermal alteration,
- the upward transport of underlying and neighbouring rocks of the scheelite-bearing series,
- the existence of older quartz masses (silica sinters), a bimodal suite with mafic and felsic igneous rocks and contemporaneous tungsten mineralization that accompanied the sinter formation,
- the existence of a submarine erosion surface and
- a later ore mineralization event coeval with the formation of the groundmass described above, with enrichment in W, F, Sn, Mo, Li, Rb, Be, Cs, Ba, As, P, Au, Th and U.

1. Einführung

Die geologische Aufnahme der Lagerstätte Felbertal und ihres Rahmens, einschließlich umfangreicher Bohrkernuntersuchungen und Detailstudien in beiden Lagerstättenfeldern (Ostfeld und Westfeld), ermöglicht ein Verständnis für den komplexen Werdegang dieser Lagerstätte. In vorliegender Studie werden metamorphe, hydrothermale Eruptionsbrekzien vorgestellt, die in neuen Stollen des Westfeldes aufgeschlossen wurden und für die genetische Interpretation der primären Vererzungsvorgänge von Bedeutung sind.

2. Geologie

Die rund 9 km südlich Mittersill gelegene Scheelitlagerstätte Felbertal (Fig. 1) beinhaltet die größte bekannte Wolframkonzentration in den Ostalpen. Sie liegt in der Habachformation, die nach HÖLL (1975) in drei Einheiten unterteilt werden kann:

1. Die *Basisschieferfolge* ist im Felbertal bis 500 m mächtig. Sie besteht aus Metapsammiten-Metapeliten, lokalen Einlagerungen von Quarziten, Graphitquarziten und Apatitquarziten, Metakonglomeraten und Kalksilikatgesteinen sowie verbreiteten Metamagmatiten. Eine ausführliche Studie über die Basisschieferfolge wird im vorliegenden Festband von GILG et al. (1988) vorgestellt.
2. Die *Eruptivgesteinsfolge* hat im Felbertal eine Mächtigkeit von mehr als 1500 m, in benachbarten Gebieten bis rund 4000 m. Sie besteht überwiegend aus einer kalkalkalischen Gesteinsassoziation (STEYRER, 1982; von QUADT, 1985) und repräsentiert eine ehemalige Inselbogenentwicklung an einem aktiven Kontinentalrand (GILG et al., 1988). Metapelitisch-metapsammitische Gesteine sowie wahrscheinlich umgelagertes vulkanogenes Material, ehemalige hydrothermal alterierte Gesteine sowie Quarzite bilden Einlagerungen in der magmatogenen Gesteinsfolge.
3. Die *Habachphyllitentwicklung* mit vorherrschend Metapeliten („Habachphylliten“) enthält mengenmäßig untergeordnet Metapsammiten und Graphitquarzite sowie Metavulkanite als Nachläufer der Eruptivgesteinsfolge.

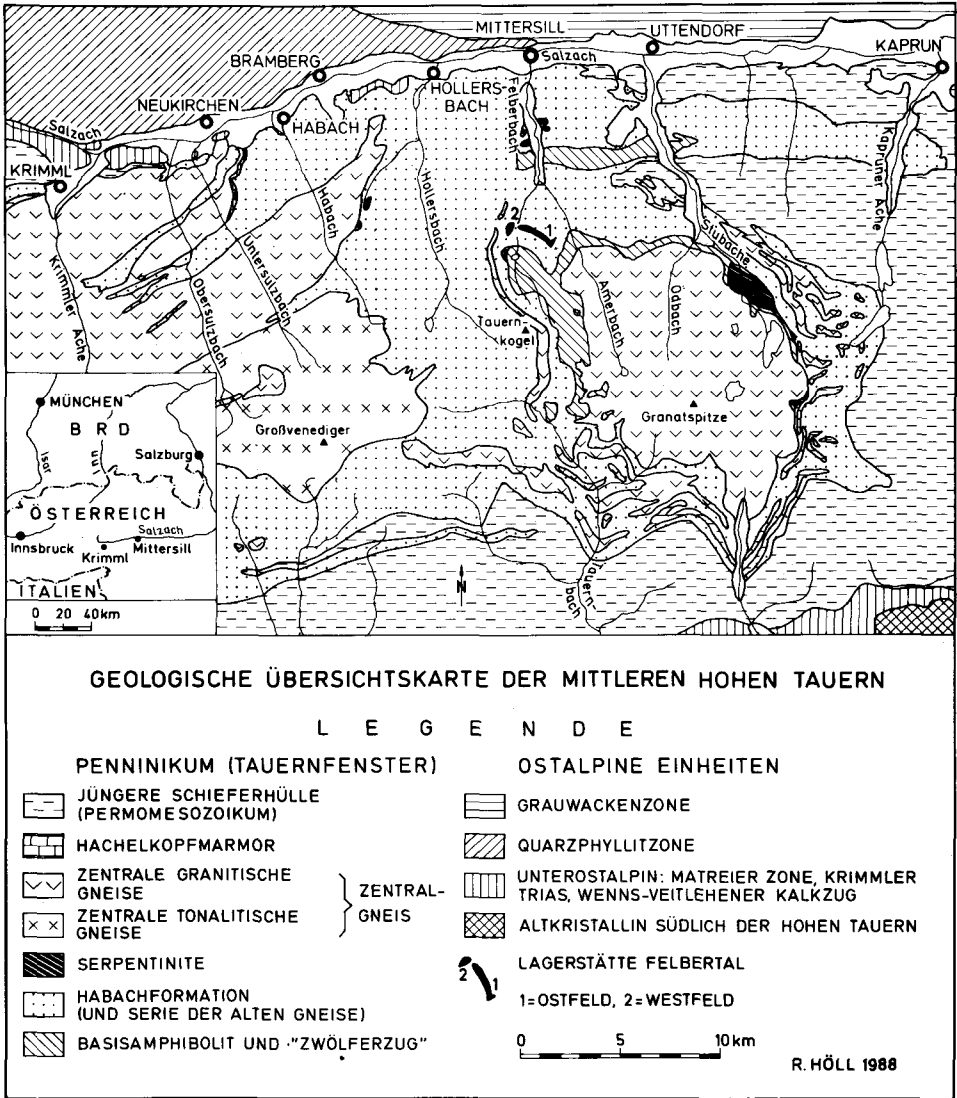


Fig. 1: Geologische Übersichtskarte der mittleren Hohen Tauern.

Über die neuentdeckte Fossilführung in der Habachformation wird von REITZ und HÖLL (1988) berichtet. Das Alter der Basisschieferfolge ist nach dem derzeitigen Fossilbefund proterozoisch. Die Habachphyllitentwicklung ist oberproterozoisch und aufgrund der Leitformen in der Mikroflora in den Zeitabschnitt vom Grenzbe- reich Riphäikum/Vendium bis in das Untere Vendium einzuordnen.

3. Die Scheelit-führende Serie

Die Scheelit-führende Serie der Lagerstätte Felbortal umfaßt den untersten, bis etwa 400 m mächtigen Abschnitt der Eruptivgesteinsfolge. Die Lagerstätte hat sich in zwei benachbarten Spezialbecken gebildet, deren Füllungen heute durch das Ostfeld und das Westfeld repräsentiert werden. Die Erzführung des Ostfeldes liegt im östlichen, topographisch höheren und inzwischen abgebauten Lagerstättenteil subparallel zur gegenwärtigen Neigung des Felbortal-Osthanges (Fig. 9). Der Erzkörper des Ostfeldes erreicht insgesamt eine Länge von 2500 m, eine Breite von 100 m und eine Mächtigkeit bis 30 m.

Das Westfeld mit Erzausbissen am Fuß des steilen Felbortal-Westhanges enthält untertägig bis zu acht Erzkörper (K 1 bis K 8) mit jeweils recht variablen Konfigurationen und Reservedaten in Abhängigkeit von unterschiedlichen Bauwürdigkeitskriterien, ferner noch zwei Zonen mit Stockwerkvererzung (S 1 und S 2) (Fig. 2).

Die Scheelit-führende Serie zeigt in beiden Feldern eine intensive Wechsellagerung und Verzahnung der verschiedenartigen Gesteine, vor allem:

- Amphibolite (mit großer textueller und kompositioneller Variabilität) mit Übergängen in Hornblendeschiefer, Chlorit-Biotit-Hornblende-Schiefer, retrograde Chloritschiefer und Chlorit-Albit-Schiefer;
- Dunkelchromoxidgrüne, grobkörnige Hornblendite und Hornblendeschiefer sowie Grobkornamphibolite;
- Verschiedenartige, mittel- bis grobkörnige, leukokrate Gneise (Biotit-Muskowit-Gneise, Muskowit-Mikroklin-Gneise, Quarzitgneise) sowie vielfältige (Epidot-)(Chlorit-)(Granat-)Biotit-Albit-Schiefer und -Gneise;
- Quarzite und Gangquarze.

4. Der Erzkörper K 2

Der Erzkörper K 2 ist durch zahlreiche Bohrungen sowie aus untertägigen Aufschlüssen in den Teilsohlen 1175 m, 1164 m, 1132 m und 1110 m gut bekannt. Seine wahre Mächtigkeit schwankt zwischen 4 und 5 m, erreicht örtlich jedoch bis 8 m. Er besitzt eine annähernd elliptische Konfiguration bei einem Abtauchen der Längsachse nach NW bis NNW.

Dieser Erzkörper besteht im wesentlichen aus braungrauen Biotit-Albit-Gneisen und Quarz-Albit-Biotit-Schiefern sowie lokal aus quarzitischen Einlagerungen. Wechsellagerungen und Verzahnungen mit lateral angrenzenden Gesteinstypen, vor allem verschiedenen Varianten von Amphiboliten sind verbreitet.

Der K 2 ist einer der großen und reichen Erzkörper des Westfeldes. Die Quarz-Albit-Biotit-Schiefer und Biotit-Albit-Gneise können örtlich hohe Anreicherungen an Mo-reichem Scheelit führen und Konzentrationen bis etwa 1,65% WO_3 erreichen. Feinkörniger Flußspat ist ein stetiger Begleiter. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand existiert ein langgezogener, stratiformer Quarzitkörper im Erzkörper K 2 mindestens von der Teilsohle 1175 m bis zur Teilsohle 1110 m, bei einem achsialen Einschieben mit 45°–50° NNW und einer nachgewiesenen Länge von rund 100 m. Bohrbefunde deuten auf eine noch wesentlich größere Erstreckung hin. Der Quarzitkörper mit einer Mächtigkeit bis 7 m zeigt in wenig gestörten Querprofilen eine

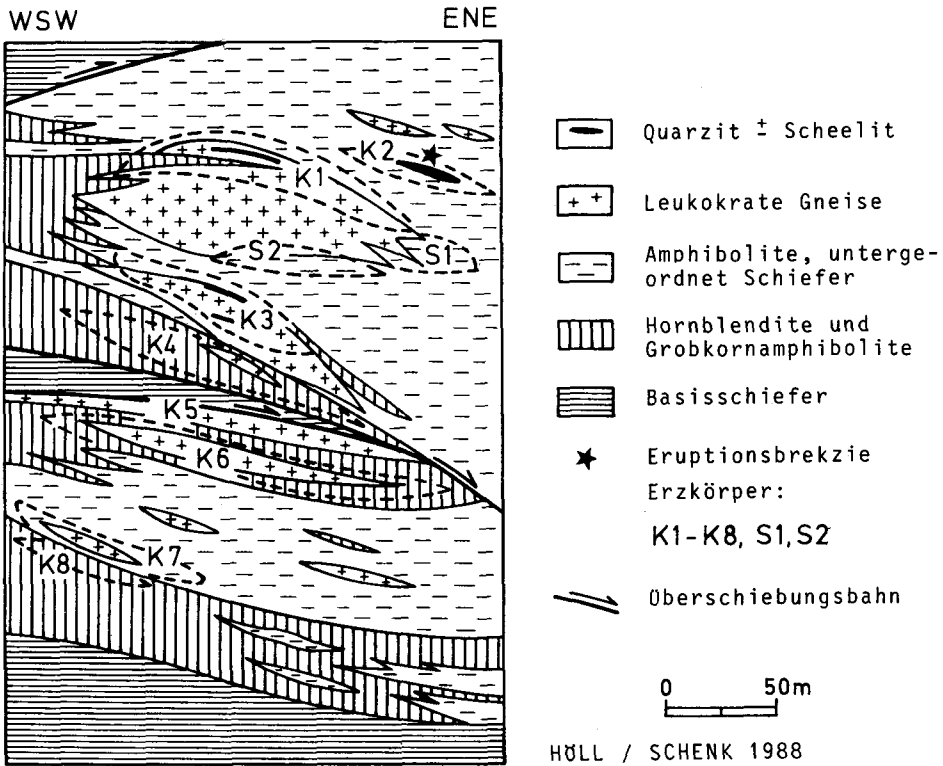
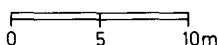


Fig. 2: Schematisches Profil durch das Westfeld der Scheelitlagerstätte Felbertal.

schüsselförmige Gestalt (Fig. 3 und 4). Er ist infolge verschiedener Quarzittypen inhomogen. Diese können aufgrund von makroskopischen und mikroskopischen Eigenschaften in zwei Gruppen eingeteilt werden:

Der erste Quarzittypus ist vor allem im oberen Teil des Quarzitkörpers vertreten. Er beinhaltet gebänderte und laminierte Quarzite mit einem hellgrauen Aussehen infolge von Verunreinigungen durch Feldspat, Hellglimmer, Chlorit und Karbonat (Modalbestand: Quarz 90–95, Feldspat bis 3, Hellglimmer und Chlorit 2–4, Karbonat bis 2 Vol.-%). Dieser Quarzittypus führt eine vorherrschend feinkörnige Scheelitmineralisation (mittlerer Korndurchmesser 0,2 mm). Die Fluoreszenzfarbe des Scheelits unter kurzwelligem UV-Licht ist bläulich-weiß bis gelblich. Der Erzgehalt bis dm-mächtiger Quarzitlagen schwankt von einer nur spurenhafte Scheelitführung bis zu starken, bänderartigen Anreicherungen mit über 1% WO₃. Einige Quarzitlagen enthalten auch eine Sulfidmineralisation, vor allem Pb-Bi-Sulfosalze und Flußspat.

Der zweite Quarzittypus ist besonders in randlichen und unteren Teilen des Quarzitkörpers zugegen. Er zeigt ein helleres Erscheinungsbild, bedingt durch



Legende:

	Amphibolite		Eruptionsbrekzie		Biotit-Albit-Gneise und Quarz-Albit-Biotit-Schiefer
	Brekzierte und alterierte Nebengesteine (Amphibolite)		Quarz ± Scheelit ± Sulfide		Leukokrate Intrusiva
..... Hangend- und Liegendgrenze des Erzkörper K2					

Hydrothermal-System: Eruptionskrater mit Quarz-Füllung (ehemals Kieselsinter)
Auflagernde Eruptionsbrekzie und alterierte Nebengesteine (Basalte, jetzt Amphibolit) und leukokrate Intrusiva.

Fig. 3: Scheelitlagerstätte Felbertal: Schemaprofil durch den Erzkörper K 2 (Teilsohle 1164 m).

geringere Verunreinigungen. Der Quarzitkörper ist in seinen randlichen und oberen Teilen stark brekziiert. Bis dm-große, unregelmäßige und durch Quarz verheilte Bruchstücke beider Quarztypen existieren chaotisch nebeneinander. Einzelne Bruchstücke sind durch dünne Biotit-reiche Schiefer voneinander getrennt; solche Erscheinungsbilder sind besonders in randlichen und oberen Teilen des Quarzitkörpers verbreitet. Die auflagernden Nebengesteine zeigen keine derartigen Phänomene, so daß wir die Untertagebefunde als Brekzierung und Verkittung unmittelbar nach der ehemaligen Kieselsinterbildung, möglicherweise bei Erdbeben und/oder hydrothermalen Eruptionen, interpretieren. Ferner bilden Biotit-reiche Schiefer und Amphibolite bis einige Meter lange und mehrere Zentimeter mächtige Einschaltungen zwischen Quarzitlagen im Quarzitkörper. Sie können als originäre Zwischenlagen von hydrothermalen Auswurfmassen, Alterationsprodukten oder Rutschmassen gedeutet werden. Die alpidische Schieferung ist als jüngste Deformationserscheinung erkennbar. Die beiden Quarztypen sind zu unterscheiden von einem durchscheinenden, glasartigen, remobilisierten Quarz in alpinen Klüften und Reißfüllungen. Dieser enthält meist keinen Scheelit oder gelegentlich vereinzelte, remobilisierte, Mo-freie, blau fluoreszierende Scheelitporphyroblasten.

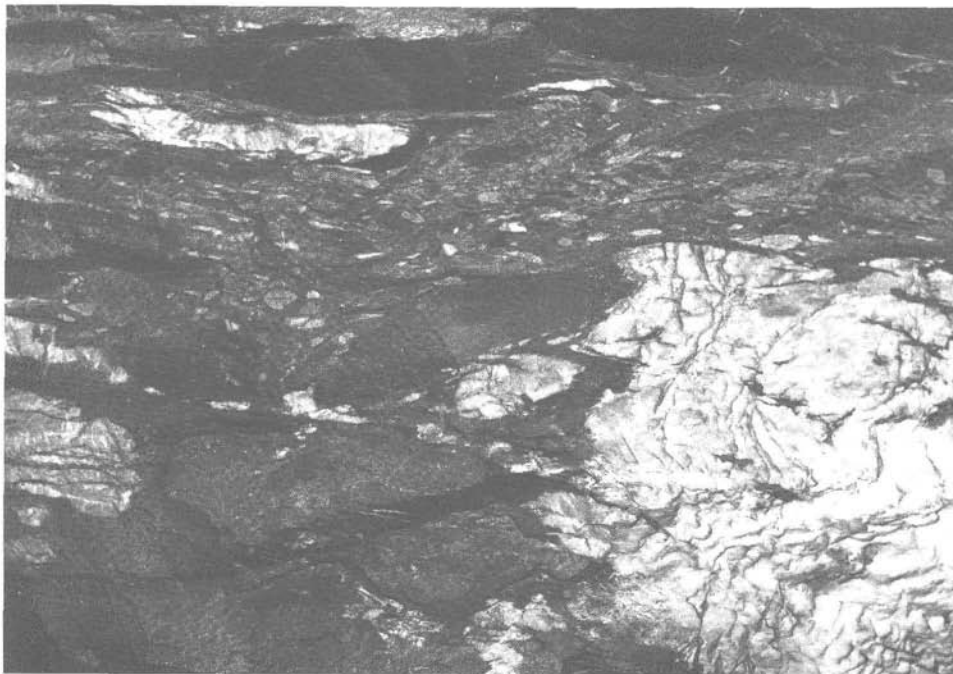


Fig. 4: Erzkörper K 2 (Teilsohle 1164 m):
Untertage-Foto: Randbereich der Quarzmasse, brekziierte Amphibolite und auflagernde Eruptionsbrekzie (Längserstreckung ca. 5 m) (vgl. Fig. 3: Bildausschnitt).

5. Hydrothermale Eruptionsbrekzien

Hydrothermale Auswurfmassen sind aus aktiven und fossilen Geothermalsystemen bekannt (z. B. MUFFLER et al., 1971; HEDENQUIST and HENLEY, 1985; NELSON et al., 1985; SEWARD and SHEPPARD, 1986). Die Bezeichnung „hydrothermale Eruption“ wird allgemein verwendet für Eruptionen, die durch die thermische Energie eines Geothermalsystems verursacht werden. Die damit verbundenen Auswurfmassen werden als „hydrothermale Eruptionsbrekzien“ bezeichnet. Im englischen Sprachgebrauch ist dafür auch die Bezeichnung „explosion breccia“ (Explosionsbrekzie) verbreitet. In rezenten hydrothermalen Eruptions- bzw. Explosionsbrekzien weisen die einzelnen Komponenten unterschiedliche Rundungsgrade auf (HEDENQUIST and HENLEY, 1985). Eine Rundung kann bereits beim Transport in der fluiden Phase stattfinden. Stark gerundete Komponenten können einen Hinweis auf einen längeren Transportweg geben und damit eine Herkunft aus größeren Tiefen anzeigen. Spätere Zurundung im Nahbereich von hydrothermalen Austrittsstellen sowie ein sedimentärer Transport können den Rundungsgrad noch verstärken.

Geröllartige Klasten, die in ihrem Aussehen Konglomeraten ähneln, genetisch aber mit einer hydraulischen in situ-Brekzierung und Zurundung an Zufuhrspalten submariner, hydrothermalen Systeme verbunden sind, werden von STANISTREET and HUGHES (1984) beschrieben und als „pseudoconglomerate“ („Pseudokonglomerat“) bezeichnet.

6. Hydrothermale Eruptionsbrekzien in der Lagerstätte Felbertal

Metamorphe, hydrothermale Eruptionsbrekzien sind in der Lagerstätte Felbertal auf den Teilsohlen 1175 m, 1164 m, 1132 m und 1110 m aufgeschlossen. Sie liegen in einem Horizont mit mindestens 100 m Längserstreckung und unterschiedlicher Mächtigkeit im dm-Bereich. Die Brekzien enthalten Komponenten aus Amphiboliten und Gneisen (ehemaligen mafischen und leukokraten Magmatiten) sowie massivem Quarz. Die Anteile dieser verschiedenen Komponenten sind an den aufgeschlossenen Lokalitäten unterschiedlich. Die Komponenten sind wenig sortiert und zeigen sehr variable Größen und unterschiedliche Rundungsgrade (Fig. 5). Sie können bis einige dm lang sein. Sie werden als Auswurffragmente aus unterlagernden Bereichen interpretiert. Auf der Teilsohle 1164 m sind die Komponenten besonders stark zugerundet. Strainanalysen in diesem Abbaubereich sowie an großen, orientiert geschnittenen Gesteinsblöcken ergaben für die verschiedenen Komponenten ein unterschiedlich starkes Deformationsverhalten in Abhängigkeit von ihrer Größe und mineralogischen Zusammensetzung. Die Quarzkomponenten verhalten sich kompetenter als die Gneiskomponenten, die ein ähnliches Deformationsverhalten wie die Grundmasse aufweisen. Die Amphibolitkomponenten sind inkompetenter als die Grundmasse (Fig. 5). Unter der Voraussetzung einer ursprünglich elliptischen Gestalt einiger eingemessener Gneiskomponenten ergab die Strainanalyse die folgenden mittleren Verhältniszahlen für die Hauptachsen des Ellipsoids:

R_{xz} (= Verhältnis der längsten zur kürzesten Hauptachse) = 18,5,

R_{yz} (= Verhältnis der mittleren zur kürzesten Hauptachse) = 6,5.

Vorliegende Daten weisen vor allem auf eine tektonische B-achbiale Längung hin. In weniger deformierten Bereichen sind neben gerundeten auch noch eckige Ausgangsformen einiger Komponenten erkennbar. Wir schließen Zurundungen im ehemaligen hydrothermalen Zufuhrsystem keineswegs aus. Wir sind jedoch der Auffassung, daß wegen der kleinräumigen Verteilung der Eruptionsbrekzien ein längerer Oberflächentransport und eine damit verbundene, weitere signifikante Rundung der Komponenten nicht vorlag. Im Bereich der Teilsohle 1110 m sind nach den Untertagebefunden auch Intrusionsbrekzien zugegen.

Weitgehende Übereinstimmungen der originären Eruptionsbrekzien im Erzkörper K 2 mit „Pseudokonglomeraten“ im Sinne von STANISTREET and HUGHES (1984) sind nach unserer Auffassung gegeben. Das heutige Erscheinungsbild der Eruptionsbrekzien wird jedoch durch die vorstehend genannte alpidische Deformation wesentlich bestimmt.

Fein- bis mittelkörnige Biotit-Albit-Gneise und Quarz-Albit-Biotit-Schiefer mit Anreicherungen an W, F, Sn, Mo, Li, Be, Cs, Ba, As, P, Bi, Au, Th und U (Tabellen 1 und 2) bilden die metamorphe Grundmasse der Eruptionsbrekzien. Sie ist lokal inhomogen und läßt sich makroskopisch und mikroskopisch nicht immer deutlich von Komponenten unterscheiden. Möglicherweise bestand ein Kontinuum in der Größenverteilung der Komponenten bis zur Feinfraktion. Wir interpretieren diese Grundmasse als ehemals feinkörniges, ausgeworfenes, hydrothermal alteriertes und vererztes Gesteinsmaterial. So zeigt die Grundmasse auf der Teilsohle 1110 m eine ähnliche Zusammensetzung wie einige Komponenten auf der Teilsohle 1164 m. Ränder um nichtquarzitische Komponenten des Brekzienhorizontes zeigen mitunter

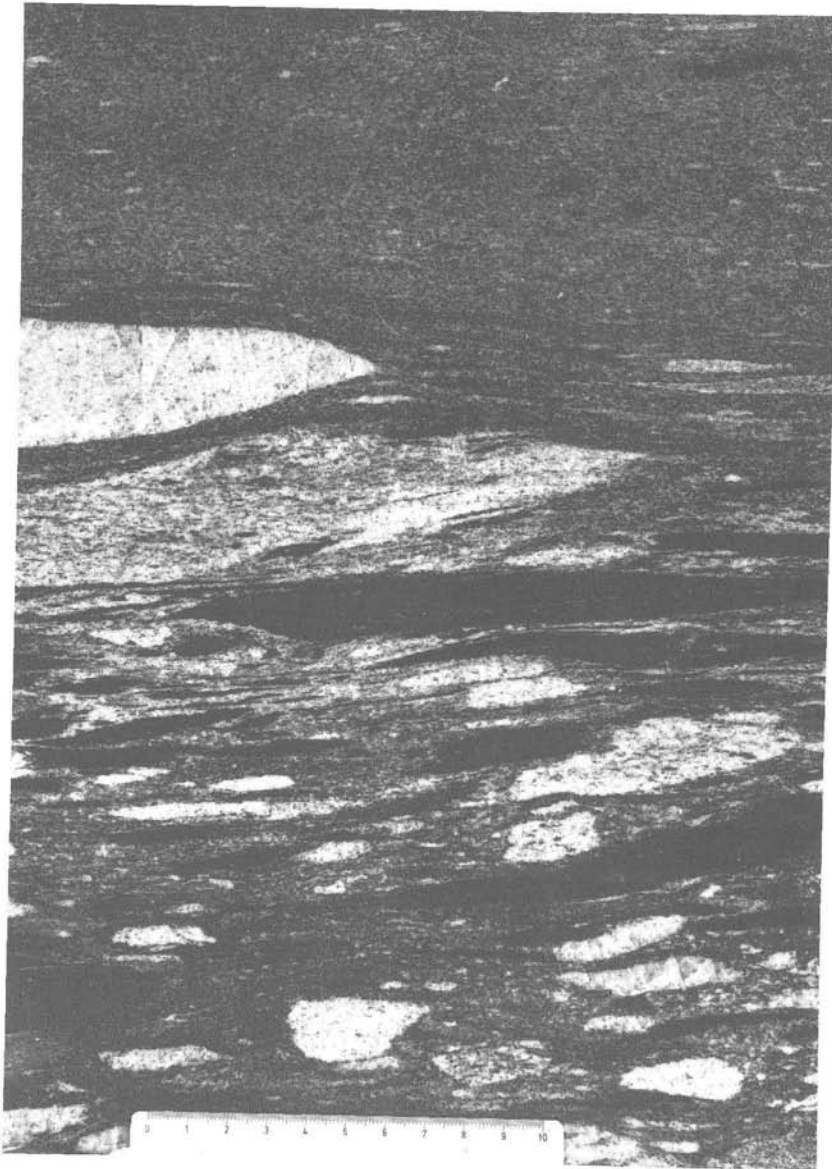


Fig. 5: Erzkörper K 2, Teilsohle 1164 m:
Eruptionsbrekzie: Geschnittene und polierte Platte:
Komponenten:
weiß: Quarz,
hellgrau: leukokrate Gneise,
schwärzlich: Hornblendeschiefer und Amphibolite,
grau: Grundmasse.



Fig. 6: Waimangu-Geothermalfeld/Taupo-Vulkanzone/Neuseeland.
 Hubschrauberaufnahme:
 Im Vordergrund rechts: Kieselsinterterrasse mit „Champagne Pool“ in großem Explosionskrater (mit derzeitiger subaquatischer As-Sb-Au-Ag-Tl-Ablagerung).
 Bildmitte: Mehrere kleine Eruptions-(Explosions-)krater.

eine hellere Farbe als die Kernbereiche infolge verminderter oder fehlender Biotitführung. Dieses Merkmal kann durch einen metamorphen Stoffaustausch bedingt sein. Mindestens in einigen Fällen ist es jedoch eher auf eine bereits hydrothermale Alteration im Gefolge der Eruption zu beziehen.

7. Erzmineralisation in der metamorphen Eruptionsbrekzie

Die Amphibolitkomponenten und die meisten der verschiedenartigen Gneiskomponenten enthalten keine unter kurzzeitigem UV-Licht nachweisbaren Scheelitkörner. Dagegen zeigen viele Quarzkomponenten eine auffallende Scheelitführung. Diese kann disseminiert oder lamelliert sein, aber auch remobilisiert an Rissen auftreten. Diese disseminierte und laminierte Scheelitmineralisation entspricht gefügemäßig der Scheelitführung im unterlagernden Quarzitkörper. Die Quarzkomponenten können zwanglos als ehemalige Bestandteile des großen, unterlagernden Quarzitkörpers vor der hydrothermalen Eruption angesprochen werden. Eine disseminierte Scheelitmineralisation ist ferner in der Grundmasse zwischen den Komponenten verbreitet. Sie ist vom Vorhandensein und von der Intensität der Scheelitführung in benachbarten Komponenten unabhängig. Deshalb kann die Vererzung der

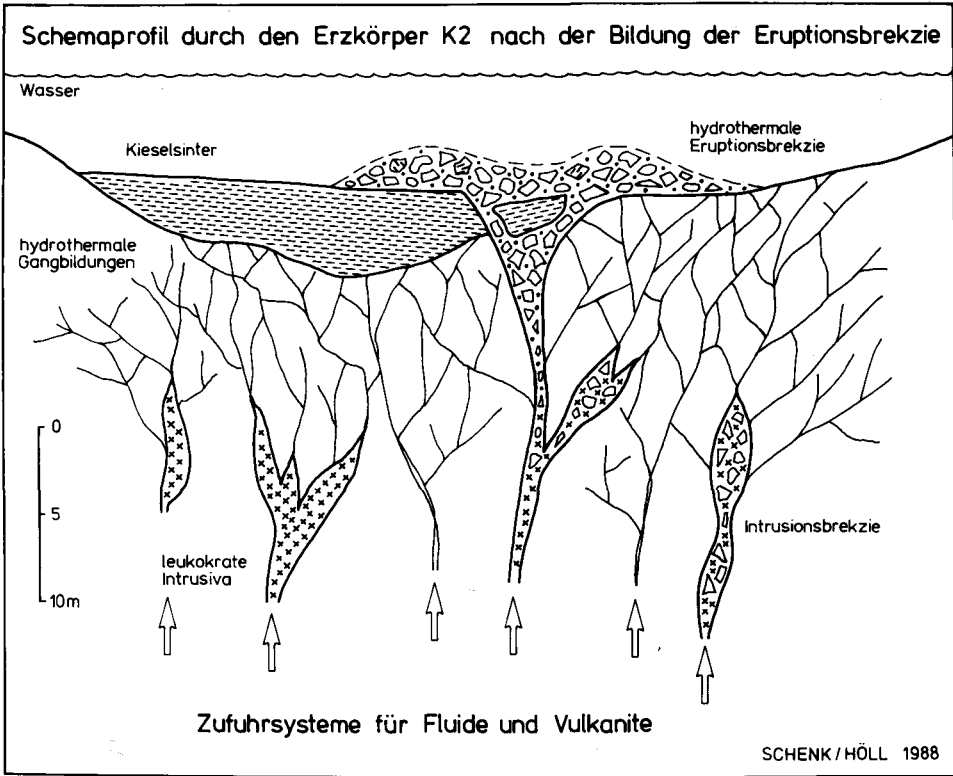


Fig. 7: Scheelitlagerstätte Felbertal: Schemaprofil durch den Erzkörper K2 nach der Bildung der Eruptionsbrekzie.

Tab. 1: Scheelitlagerstätte Felbertal: Chemische Analysen (Minimal- und Maximalwerte) der Grundmasse und einiger Komponenten der metamorphen, hydrothermalen Eruptionsbrekzie im Erzkörper K2 sowie aus umgebenden Amphiboliten (Angaben in Gew.-%)

	Grundmasse (TS 1164 m) n = 3	Grundmasse (TS 1110 m) n = 1	Leukokrate Komponenten n = 3	Amphibolit Komponenten n = 2	Umgebende Amphibolite n = 4
SiO ₂	66,81–72,62	73,62	68,84–75,78	49,15–49,50	48,95–52,65
TiO ₂	0,33– 0,41	0,22	0,20– 0,25	1,13– 1,40	0,98– 1,23
Al ₂ O ₃	11,37–12,09	12,17	11,29–14,35	13,88–14,83	11,82–15,70
Fe ₂ O ₃	2,65– 3,92	1,47	2,18– 2,77	11,00–11,32	9,33–10,20
MnO	0,11– 0,17	0,05	0,09– 0,19	0,25– 0,44	0,15– 0,26
MgO	2,33– 4,34	0,73	0,47– 1,38	7,85– 8,67	7,57– 7,89
CaO	3,61– 5,71	3,04	3,30– 4,47	10,32–11,08	10,31–13,56
Na ₂ O	3,24– 4,84	7,76	5,11– 7,78	2,94– 4,06	2,39– 3,89
K ₂ O	1,35– 2,44	0,25	0,32– 0,73	1,05– 1,10	0,39– 0,79
P ₂ O ₅	0,46– 0,62	0,10	0,14– 0,17	0,15– 0,22	0,19– 0,27

Bestimmungsmethoden: EDAX und RFA: Si, Al, K, Ca; ICP: Ti, Fe, Mn, Mg, Na, P.

Tab. 2: Scheelitlagerstätte Felbertal: Chemische Analysen (Minimal- und Maximalwerte) von Neben- und Spurenelementen aus der Grundmasse (1164 m) der metamorphen, hydrothermalen Eruptionsbrekzie im Erzkörper K2 (n = 3 bzw. n = 1). Analysenwerte in ppm.

W	659–2843	Cu	12– 17	Nb	18– 19	Tb	0,64
Sn	74– 80	Co	17– 33	Th	33– 50	Yb	3,3
Mo	12– 78	Ni	62– 83	U	17– 26	Lu	0,5
Li	71– 92	Cr	138–207	B	31	Ta	4,9
Rb	321– 657	V	48– 76	Y	50	Cs	149
Be	78– 92	Pb	16– 41	La	32– 50	Sc	8,3
As	3– 8	Bi	13	Ce	80–105	F	11930
Au	0,0265	Zn	78–122	Nd	24		
Sr	129– 204	Ga	8– 9	Sm	8		
Ba	475– 997	Zr	70– 99	Eu	0,8		

Bestimmungsmethoden: ICP: Be, Sr, Ba, Cu, Co, Ni, Cr, V, Ce
 RFA: Rb, Pb, Th, Ga, Zr, Nb, U, Y
 AAS: As, Li, Zn
 AES: Sn, Bi, Mo
 INAA: Au, W, La, Nd, Sm, Eu, Tb, Lu, Ta, Cs, Sc
 Pyrohydrolytischer Aufschluß: F

Tab. 3: Typische Zusammensetzung eines Bohrlochwassers im Broadlands Geothermalsystem (in ppm).
 (Aus P. R. L. BROWNE (1983): Broadlands (Ohaaki) Geothermal System. – Epithermal Environments in New Zealand, Field Conference, 13–20 February, 1983. N. Z. Mineral Exploration Association, E1–E13, Table 3).

Na	1050	Fe	0,36	As	5,7	Pb	0,0013
K	210	F	4,94	W	0,087	Zn	0,001
Li	11,7	Cl	1180	Mn	0,0133	Cu	0,0009
Rb	2,2	Br	3,9	Tl	0,007	Ag	0,0007
Cs	1,7	SiO ₂	805	Ge	0,004	Be	0,00025
Ca	2,2	SO ₄	196	V	0,0023	Ni	0,0002
Mg	0,1	CO ₂	178	Sn	0,0021	Au	0,00004

Grundmasse einen scharfen Kontrast zu eingelagerten, Scheelit-freien Amphibolit- und Gneiskomponenten sowie zu Scheelit-reichen Quarzkomponenten aufweisen. Auf der Teilsohle 1164 m nimmt der Volumenanteil der Komponenten in der Grundmasse östlich des Quarzitkörpers stark ab (Fig. 3). Die makroskopisch sehr Komponenten-arme Grundmasse (Biotit-Albit-Gneise, untergeordnet Quarz-Albit-Biotit-Schiefer) enthält dort jedoch eine hohe Scheelitanreicherung (bis 1,65% WO₃). Dieser Scheelit sowie die begleitende Sulfidmineralisation in der Grundmasse werden als etwa altersgleich mit der Entstehung der hydrothermalen Eruptionsbrekzie angesehen. Der Vererzungsvorgang wird als älter als die auflagernden, ehemals basaltischen Gesteine interpretiert.

8. Diskussion und Schlußfolgerungen

Der Erzkörper K 2 zeigt in seinen Merkmalen auffallende Ähnlichkeiten mit Erscheinungen in gegenwärtig aktiven Geothermalgebieten Neuseelands. Letztere sind dem zweitgenannten Autor durch persönliche Besichtigungen bekannt. Die besten Übereinstimmungen werden mit dem Waiotapu und dem Waimangu Geothermalsystem gesehen. Fig. 6 zeigt das Waiotapu Geothermalfeld mit Explosionskratern, einer Kieselsinterplattform und dem Champagne Pool. Letzterer ist durch seine heutige, supergene Lagerstättenbildung mit As-Sb-Au-Ag-Tl-Anreicherungen in Kieselsintern bekannt. Ein kleiner Krater 60 m NE des Champagne Pool ist teilweise mit Kieselsintern gefüllt. Diese wachsen vom Boden nach oben und unregelmäßig von der Seite nach innen, umgeben von der genannten Kieselsinterplattform. Dieser Krater mit seiner Kieselsinterfüllung kann als genetisches Modell für die schüsselförmige, im Zentralbereich weithin gebänderte, randlich sehr unregelmäßig texturierte Quarzmasse im Erzkörper K 2 betrachtet werden (Fig. 3).

Wir folgern für den Erzkörper K 2, daß mindestens eine hydrothermale Eruption (Explosion) nach der Bildung der ehemaligen Kieselsinter samt ihrer Wolfram- und Sulfiderzführung erfolgt sein muß. Die Brekzie auf diesen Sintern wird als subaquatisches Eruptionsprodukt angesprochen. Das Eruptionszentrum lag wahrscheinlich nahe der stofflichen Achse der zeitlich vorangegangenen Sintermasse (des heutigen Quarzitkörpers). Darauf verweist vor allem auch die rasche laterale Abnahme der Komponenten im Brekzienhorizont im Meter-Bereich seitlich oberhalb des Quarzitkörpers.

Verschiedenartige Mechanismen für hydrothermale Eruptionen (Explosionen) sind möglich. Eine Abdichtung von hydrothermalen Zufuhrspalten mit Kieselsintern („silica sealing“) in Geothermalsystemen kann zur Entstehung einer Gaskappe über siedenden Fluiden führen. Ein Überdruck kann ein hydraulisches Zerbersten und hydrothermale Eruptionen (Explosionen) bewirken (HEDENQUIST and HENLEY, 1985). Auch eine verstärkte Zufuhr magmatischer Wärme und/oder volatiler Anteile in ein Geothermalsystem kann einen Überdruck der Fluide bedingen. Ferner liegen



Fig. 8: Tarawera-Spalte/Taupo-Vulkanzone/Neuseeland: Modell für langgezogene, hydrothermale Zufuhrspalten.
Aufgeschlossen: schwarz: Basalte, hellgrau: Rhyolithe.



Fig. 9: Lagerstätte Felbertal, Ostfeld: Langgezogener, schmaler, bis unter den Talboden nachgewiesener, im oberen (östlichen) Teil abgebauter Erzkörper entlang einer ehemaligen Zufuhrspalte (vgl. Fig. 8).

Geothermalsysteme gewöhnlich in Gebieten mit anomal hoher Seismizität und Erdbeben­­tätigkeit. Letztere kann tiefe Bruchsysteme schaffen, die als Zufuhrwege für aufsteigende Fluide und hydrothermale Eruptionen dienen mögen. Das Tarawera-Rift/Neuseeland und seine Fortsetzung bis zum Explosionskratersee Frying Pan Lake kann als Modell für das langgezogene, aber sehr schmale Ostfeld der Lagerstätte Felbertal dienen (Fig. 8 und 9). Es sei darauf hingewiesen, daß sich am Boden des Frying Pan Lake derzeit subaquatische, Wolfram-reiche (bis 4,5% W) Sinter ablagern (SEWARD and SHEPPARD, 1986). Es ist aufgrund der gegenwärtigen Aufschlußsituation durchaus möglich, daß auch der Erzkörper K 2 sich an einer langgezogenen Struktur gebildet hat.

Die genannten Geothermalgebiete Neuseelands liegen im Vulkangürtel über einer aktiven Subduktionszone. Eine analoge geotektonische Position in einem Inselbogen an einem Kontinentalrand über einer ehemaligen Subduktionszone wird von uns auch für die originäre Wolfram- und die begleitende Sulfidmineralisation der Lagerstätte Felbertal gefolgert. Dabei werden neben mengenmäßig geringen, teilweise aber hochwertigen Erzablagerungen an oder nahe der Sedimentoberfläche (beispielsweise zuerst im Kieselsinter, später in der Grundmasse zwischen den Brekzienkomponenten im Erzkörper K 2) auch mengenmäßig große, diskordante Erzabscheidungen im Zufuhrbereich postuliert. Diese alten Erzmineralisationen unterlagen durchgreifenden metamorphen Remobilisationen (HÖLL, 1975; WESTENBERGER, 1983; HÖLL et al., 1987).

Danksagung

Wir danken den Herren Prof. Dr. E. SCHROLL, Wien, Dr. F. R. SAUPÉ, NANCY, Prof. Dr. G. TROLL, Dr. H. STÄRK, Dr. B. DELAKOWITZ und Dipl.-Geol. H. A. GILG (alle München) für die Anfertigung chemischer Analysen. Ferner bedanken wir uns bei den Herren Prof. Dr. A. M. EVANS, University of Leicester, für die Hilfe bei der Formulierung des Abstracts sowie Prof. Dr. V. HÖCK, Universität Salzburg, und Dr. A. VON QUADT, ETH Zürich, für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- BROWNE, R. P. L. (1983): Broadlands (Ohaaki) Geothermal System. – Epithermal Environments in New Zealand, Field Conference, 13–20 Febr. 1983. N. Z. Mineral Exploration Association, E1–E13.
- GILG, H. A. (1987): Der geologische Rahmen des Ostfeldes der Scheelitlagerstätte Felbertal (Land Salzburg/Österreich): Petrographische, geochemische und geothermometrische Untersuchungen. Unpubl. Diplomarbeit, 206 S., Univ. München.
- GILG, H. A., HÖLL, R., KUPFERSCHMIED, M. P., REITZ, E., STÄRK, H., WEBER-DIEFENBACH, K. (1988): Die Basisschieferfolge in der Habachformation im Felber- und Amertal: Gesteinsinhalt, Geochemie, Fossilführung und genetische Implikationen. – Mitt. Österr. Geol. Ges. 81.
- HEDENQUIST, J. W. und HENLEY, R. W. (1985): Hydrothermal eruptions in the Waitapu geothermal system, New Zealand: Their origin, associated breccias and relation to precious metal mineralization. – Econ. Geol., 80, 1640–1668, New Haven.
- HÖLL, R. (1975): Die Scheelitlagerstätte Felbertal und der Vergleich mit anderen Scheelitvorkommen in den Ostalpen. – Bayer. Akad. Wiss., math.-natw. Kl. Abh., N. F. 157 A–B, 157 S., München.
- HÖLL, R., IVANOVA, G. and GRINENKO, V. (1987): Sulfur isotope studies of the Felbertal scheelite deposit, Eastern Alps. – Mineral. Deposita, 22, 301–308, Heidelberg.
- HÖLL, R. and SCHENK, P. (1987): Genetical interpretation of a scheelite bearing metaconglomerate of the tungsten deposit Felbertal (Eastern Alps). – Terra cognita, 7, 192, Paris.
- MUFFLER, J. P., WHITE, D. E. and TRUESDELL, A. H. (1971): Hydrothermal explosion craters in Yellowstone National Park. – Bull. Geol. Soc. America, 82, 723–740, Boulder/Col.
- NELSON, C. E. and GILES, D. L. (1985): Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring gold deposits. – Econ. Geol., 80, 1633–1639, New Haven.
- VON QUADT, A. (1985): Geochronologische, geochemische und isotopengeochemische Untersuchungen an Gesteinen der Habach-Formation, der Scheelitlagerstätte und des angrenzenden Altkristallins im Felbertal (Land Salzburg). – Diss. 241 S., ETH Zürich.
- REITZ, E. und HÖLL, R. (1988): Jungproterozoische Mikrofossilien aus der Habachformation in den mittleren Hohen Tauern und dem nordostbayerischen Grundgebirge. – Jb. Geol. B.-A. 131/2, 329–340.
- SEWARD, T. M. and SHEPPARD, D. S. (1986): Waimangu geothermal field. – Monograph Series on Mineral Deposits, 26, 81–96, Berlin–Stuttgart.
- STANISTREET, I. G. and HUGHES, M. J. (1984): Pseudoconglomerate and a re-examination of some paleoenvironmental controversies. – Geology, 12, 717–719, New Haven.
- STEYRER, H. P. (1982): Geochemie, Petrographie und Geologie der Habachformation im Originalgebiet zwischen äußerem Habachtal und Untersulzbachtal. – Diss. 177 S., Univ. Salzburg.
- WESTENBERGER, H. (1983): Über Sammelkristallisation und Remobilisation von Scheelit in der Wolframlagerstätte Felbertal bei Mittersill. – Schriftenr. erdwiss. Komm. österr. Akad. Wiss., 6, 83–91, Wien.