

Aus dem Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck

Über Lamprophyre aus den nördlichen Kalkalpen (Ehrwaldit)

Von

V. Trommsdorff

Mit 16 Textabbildungen

(Eingegangen am 17. März 1961)

	Seite
Vorwort	281
I. Einleitung, ältere Arbeiten	282
II. Der Ehrwaldit	283
III. Kontakterscheinungen	307
IV. Chemismus der Ehrwaldite	316
V. Die geologische Stellung der Ehrwaldite	321
VI. Zusammenfassung	323
Literatur	325

In der vorliegenden Arbeit werden Lamprophyre aus dem Bereich zwischen Ehrwald und dem östlichen Karwendelgebirge untersucht. Es werden die einzelnen Fundpunkte beschrieben und die betreffenden Gesteine petrographisch und chemisch gekennzeichnet. Es wird das Verhältnis zu den Nachbargesteinen diskutiert. Abschließend wird ein kurzer petrographischer Vergleich mit ähnlichen Gesteinen der Ostalpen durchgeführt. Die Altersfrage des Ehrwaldit wird besprochen.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde auf Anregung und unter der Leitung von Herrn Professor Dr. *Josef Ladurner*, Vorstand des mineralogisch-petrographischen Institutes der Universität Innsbruck, durchgeführt.

Die Untersuchungen im Gelände erfolgten in den Sommern 1959 und 1960; die weitere Ausarbeitung geschah im mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Innsbruck.

Für seine wohlwollende Unterstützung und für seine Anregungen während der Arbeit gilt meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. *Josef Ladurner*, mein aufrichtiger Dank.

Dank eines freundlichen Angebotes des Direktors der Geologischen Bundesanstalt in Wien, Herrn Professor Dr. *Küpper*, wurden die Gesteinsanalysen im chemischen Labor der geologischen Bundesanstalt durchgeführt. Herrn Professor Dr. *Küpper* danke ich hierfür aufrichtig. Weiters danke ich den Herren *Zitzelberger* und *Bögel* vom Institut für technische Geologie, T. H. München, für die Einsicht in noch unveröffentlichte geologische Kartenaufzeichnungen.

I. Einleitung, ältere Arbeiten

Der ohnehin spärliche Vulkanismus in den nördlichen Kalkalpen und das Fehlen einer monographischen Beschreibung des Ehrwaldites ließen es wünschenswert erscheinen, dieses interessante Eruptivgestein zu bearbeiten. In der älteren Literatur finden sich verschiedentlich Hinweise auf den Ehrwaldit, sowie kurze, zum Teil sich widersprechende Beschreibungen des Gesteins. Diese sind jedoch heute veraltet. Daneben erschwerte das Fehlen chemischer Analysen des Ehrwaldites eine genaue Klassifikation dieses Gesteins. So erscheint es verständlich, daß auch von moderneren Autoren der Ehrwaldit an recht verschiedenen Stellen in der Familie der Eruptivgesteine eingestuft wurde.

In der Folge wird eine kurze Übersicht über die Geschichte der Bearbeitung des Ehrwaldites seit seiner Entdeckung gegeben.

Adolf Pichler entdeckte am 26. August 1865 im Lehnbachgraben bei Ehrwald den „schwarzen Porphy“ im Jura. 1866 gab er den Fund bekannt (19)*. Er beschreibt in einer schwarzen Grundmasse bräunlichen Glimmer, weißlichen Feldspat sowie blättrige Massen eines olivinähnlichen Minerals. Gleichzeitig gab er die von *Hauer* durchgeführte Analyse der schwarzen Einsprenglinge bekannt. (Es dürfte sich um Augit gehandelt haben.)

1869 nennt *Tschermak* das Gestein einen Augitporphyr (32). Als nächster erwähnt *Lasaulx* das Vorkommen 1875 (15).

1875 nennt *Pichler* das Gestein Ehrwaldit, da es sich wesentlich von den Südtiroler Augitporphyren unterscheidet. Er stellt das Gestein altersmäßig in den Jura (21).

1877 gibt *Rosenbusch* eine kurze Beschreibung des Ehrwaldites (28) und stellt das Gestein zunächst zu den Tescheniten, gibt aber an, daß die Bestimmung des Nephelin unsicher ist. Später stellte er das Gestein zu den Monchiquiten.

1890 gibt *Cathrein* die erste genauere Beschreibung des Gesteins (8). Wichtige Komponenten werden in der Abhandlung bereits be-

* In Klammern stehende Zahlen stellen Literaturhinweise dar. Sie entsprechen der jeweiligen Nummer des Literaturverzeichnisses am Ende der Arbeit.

schrieben. *Cathrein* beschreibt einen Mandelstein mit Augit und bastitisiertem Enstatit sowie bastitisiertem Bronzit bis Hypersthen als Einsprenglinge. Die Grundmasse besteht aus Augit, wenig Biotit, in größerer Menge als dieser findet sich Hornblende, als Akzessorien Apatit, Magnetit und Pyrit. Alle diese Bestandteile befinden sich in einer kryptokristallinen Grundmasse. Als Hohlraumausfüllungen treten sekundär Calcit sowie Zeolithe auf.

1911 beschreibt *Matthäus Schuster* das Gestein (25). Er stellt zwei Ausbildungsformen fest, eine porphyrische, relativ glasarme sowie eine mikroporphyrische, glasreiche mit Mandelausbildung. Für die porphyrische Ausbildungsform gibt er Augit und serpentinierten Olivin als Einsprenglinge an. In der Grundmasse liegen Augit, Hornblende, Biotit, Erz und Apatit. Die Glasbasis ist größtenteils chloritisiert oder zeolithisiert. Für die mikroporphyrische Ausbildungsform gibt Schuster reichlich serpentinierten Olivin, Augit, Hornblende, Biotit, Erz und Apatit sowie viel Glas an. Die bis einige Millimeter großen Mandeln sind sekundär mit Calcit gefüllt.

Tröger nennt 1935 das Gestein einen melanokraten Hyalo-Biotit-Augitporphyr (31).

Leitmeier stellt 1950 das Gestein zu den Limburgiten (16).

II. Der Ehrwaldit

A. Vorkommen und Verbreitung

Adolf Pichler erbrachte durch seinen Fund im Jahre 1865 den ersten Beweis für eine, wenn auch spärliche vulkanische Tätigkeit in den nördlichen Kalkalpen. Weitere Vorkommen von derartigen Gängen wurden erst viel später im Rahmen der Wettersteinkartierung durch *Ampferer*, *Pfaff* und *Reis* entdeckt.

Max Richter beschrieb 1928 ein Vorkommen von Diabasen am Ladizjöchel in der Falkengruppe im Karwendelgebirge (26). Weitere Gänge vulkanischer Natur wurden von *Mutschlechner* im Rahmen der geologischen Neuaufnahme des Karwendelgebirges in den Jahren 1934 bis 1941 sowie bei späteren Begehungen entdeckt.

In einer zusammenfassenden Darstellung (17) gab *Mutschlechner* eine Übersicht über die Reihe der bisher entdeckten Vorkommen.

Anlässlich der geologischen Neuaufnahme der Jungschichtenzone am Wettersteinsüdrand durch *Zitzelberger* (34) und *Bögel* (6) zeigte sich, daß den Ganggesteinen im Wettersteingebirge eine viel größere Verbreitung zukommt, als noch bei *Mutschlechner* bekannt war.

Die einzelnen Vorkommen wurden von mir systematisch aufgesucht. Im Wettersteingebirge auf Grund der *Reisschen* Karte so-

wie der noch unveröffentlichten Neuaufnahmen von *Zitzelberger* und *Bögel*.

In der folgenden Zusammenstellung sind die wichtigsten Vorkommen kurz beschrieben.

Vorkommen im Wettersteingebirge

a) Vorkommen von Ehrwaldit im Bereich des Lehnbachgrabens bei Ehrwald.

1. In der nördlichsten Hauptverzweigung des Lehnbachgrabens im Osten von Ehrwald in 1650 m Höhe im oberen Jura. Das von *Adolf Pichler* entdeckte Vorkommen ist heute nicht mehr auffindbar und scheint unter jungem Murschutt zu liegen. An dem im Mineralogischen Institut Innsbruck reichlich vorhandenen Material konnten jedoch Untersuchungen vorgenommen werden.

2. Südlich von 1 in einem Seitenast des westlichsten Armes des Lehnbachgrabens in etwa 1700 m Höhe. Der Gang liegt in hellgrauem Oberjurakalk. Der Ehrwaldit lagert schichtparallel, nur einzelne Adern von zirka $\frac{1}{2}$ cm Mächtigkeit durchbrechen den Kalk diskordant. Der Kalk ist teilweise stark kontaktmetamorph verändert und ist am Kontakt kreideweiß gefärbt (genauere Beschreibung unter „Kontakterscheinungen“).

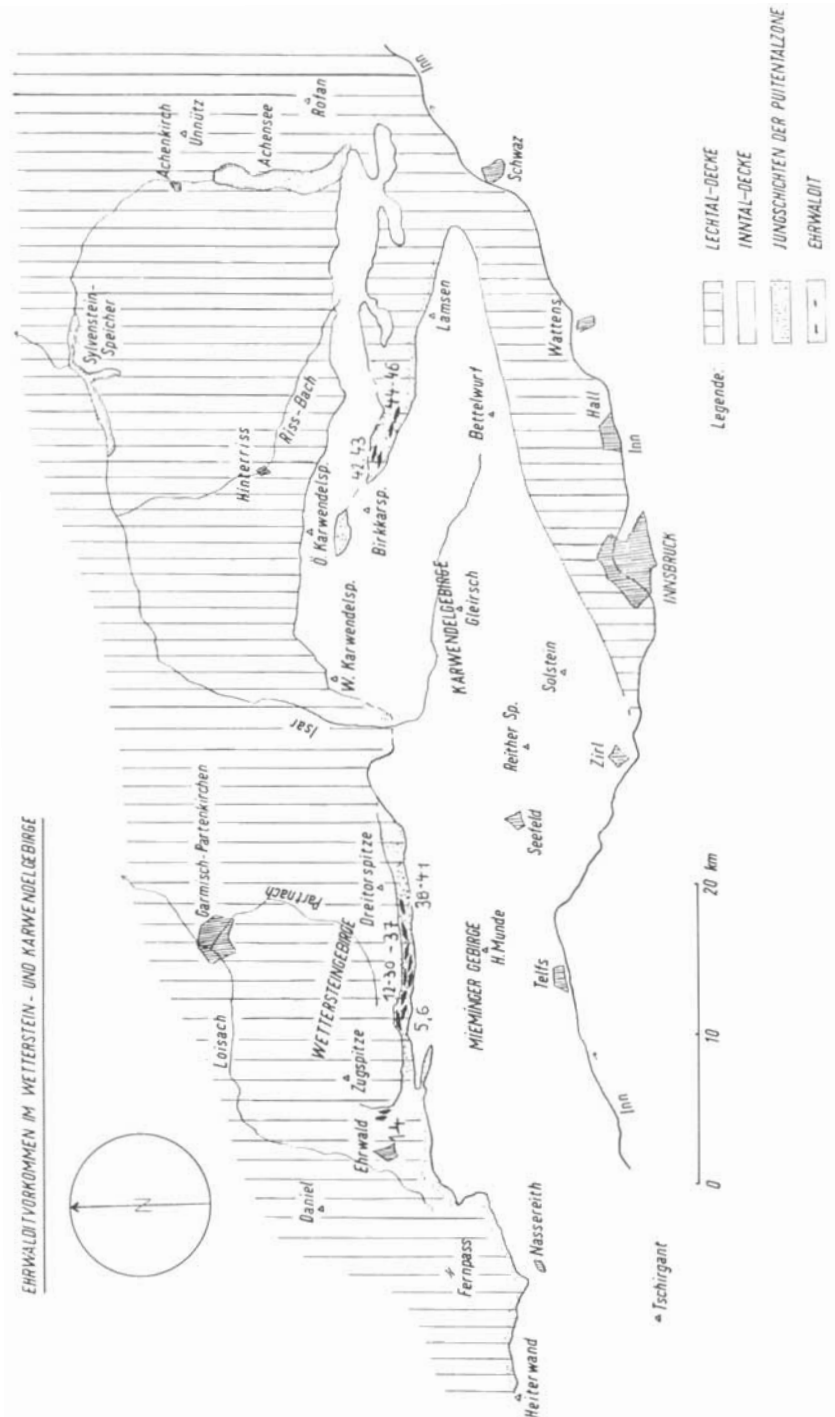
3. Etwa 50 m südlich von Aufschluß 2 im westlichen Ast des Lehnbachgrabens in etwa 1700 m Höhe. Der Aufschluß besteht aus zwei linsenförmig im Oberjurakalk liegenden Gängen, die durch eine $\frac{1}{2}$ m mächtige Kalkbank voneinander getrennt sind. Obgleich der Aufschluß im gleichen stratigraphischen Horizont liegt wie Aufschluß 2, finden sich nicht dieselben Kontakterscheinungen. Der Kalk zeigt am Kontakt eine schwache Grünfärbung. In diesem Aufschluß — die beiden Linsen haben eine Größe von je etwa 8 m² — wurde das Fugengefüge im Ehrwaldit und im Nebengestein gemessen und in Diagrammen ausgewertet.

4. 30 m höher in demselben Graben in den Hornsteinschichten. Das Vorkommen ist stark verwachsen. In diesem Aufschluß findet sich eine Mandelsteinabart des Ehrwaldites.

b) Vorkommen von Ehrwaldit im Bereich der Südabdachung des Wettersteinhauptkammes. Abb. 1 zeigt einen Abschnitt dieses Bereiches südlich des Hohen Kammes.

5. Am Weg zwischen Feldernjöchl und Gatterl in den Neocomschichten in knapp 2000 m Höhe. Der Aufschluß ist nur einige Quadratdezimeter groß. Der Ehrwaldit ist sehr stark verwittert und steht mit den Neocommergeln in Kontakt.

EHRWALDTVORKOMMEN IM WETTERSTEIN- UND KARWENDELGEBIRGE



6. Auf dem Hohen Kamm östlich vom kleinen Trauchlet in etwa 2330 m in einem Quetschbereich aus Neocom und Hornsteinschichten.

7. bis 12. Aufschlüsse im Bereich des Kotbachsattels: nördlich des Kotbachsattels in den Hornsteinschichten. Östlich vom Kotbachsattel in der westlichen Rinne (Nr. 1 auf Abb. 1), die vom Hohen



Abb. 1. Südabdachung des Wettersteinhauptkammes. H. K. = Hoher Kamm; Ks. = Kotbachsattel; 1, 2, 3 = 1., 2., 3. Rinne; HST = Hornsteinschichten.

Kamm gegen das Steinerne Hüttel hinabzieht. Hier befinden sich mehrere Aufschlüsse in den Hornsteinschichten, in ± 2140 m Höhe. Am westlichen Abhang der Rinne ist ein Gang auf zirka 40 m Länge aufgeschlossen (Abb. 2 zeigt einen Abschnitt aus diesem Gang). Er streicht etwa E—W und fällt 70 N. Der Gang lagert schichtparallel. Neben typisch dichtem Ehrwaldit findet sich auch eine Mandelsteinabart als Salband ausgebildet. Das Material ist frischer als in anderen Aufschlüssen am Wetterstein-Südrand. Die Mächtigkeit des Ganges schwankt zwischen 80 cm und 1·5 m. An beiden Enden taucht der Hang unter Gehängeschutt.

Zwei kleinere Aufschlüsse finden sich ebenfalls in dieser Gegend etwa 120 m weiter östlich in der gleichen Höhe. Die Hornsteinschichten streichen etwa E—W und fallen um 70 N.

13. bis 14. Zwei Aufschlüsse östlich von 6 in einer Rinne (Nr. 2 auf Abb. 1), die vom Steinernen Hüttl gegen den Hohen Kamm hinaufzieht in zirka 2040 m Höhe in den Hornsteinschichten, die diese Rinne quer durchsetzen. Südlicher Gang: am westlichen Abhang der Rinne auf zirka 40 m aufgeschlossen, Gangmächtigkeit um 1 m. Der Gang durchbricht am Grunde der Rinne den Hornstein



Abb. 2. Ausschnitt aus einem Ehrwalditgang, Aufschluß 7. E. = Ehrwaldit; Hst. = Hornsteinschichten.

diskordant, im übrigen Aufschlußbereich lagert er schichtparallel. Der Ehrwaldit ist sehr stark verwittert. Nördlicher Gang: 20 m nördlich dieses Aufschlusses liegt ebenfalls am Westabhang der Rinne ein kleiner Aufschluß.

15. bis 23. Eine Reihe kleinerer Vorkommen östlich von 7 zwischen dieser Rinne und der weiter im E gegen den Hohen Kamm hinaufziehenden Hauptrinne. (Nr. 3 auf Abb. 1). Alle diese Vorkommen (insgesamt 9) haben weniger Bedeutung. Das südlichste Vorkommen liegt am westlichen Hang der Hauptrinne, unweit vom Steinernen Hüttl in etwa 1900 m Höhe. Alle unter 15 bis 23 verzeichneten Vorkommen liegen zwischen 1900 und 2100 m in den Hornsteinschichten.

24. bis 25. Zwei unbedeutende Vorkommen am Westabhang vom Mitterjöchel gegen das Steinernen Hüttl in 1980 und 2040 m Höhe.

26. bis 30. Mehrere Vorkommen nördlich vom Mitterjöchel in einem Quetschbereich aus Hornstein- und Neocomschichten, der etwa E—W verläuft und auf dem vom Mitterjöchel gegen den Kleinsanner hinaufziehenden Rücken morphologisch durch eine kleine Verebnung hervortritt. Die Vorkommen liegen am West- und am Ostabhang dieses Rückens in 2140 und 2180 m Höhe. Die Vorkommen am Westabhang sind unbedeutend. Wichtig dagegen ist ein, von *Zitzelberger* (34) entdecktes Vorkommen von Ehrwaldit am Ostabhang dieses Rückens, das in den Neocommergeln steckt. Der Aufschluß ist etwa 3 m² groß und linsenförmig. An der Grenze Ehrwaldit—Neocommergel zeigt der Ehrwaldit ein etwa 10 cm breites Salband, das sich durch seine helle Farbe von dem übrigen Ganggestein deutlich abhebt. Die Neocommergel zeigen makroskopisch keine Kontaktwirkungen.

31. Ein unbedeutendes Vorkommen westlich oberhalb der Rotmoosalm in 2030 m Höhe in den Hornsteinschichten.

32. Im Osten der Rotmoosalm südlich von P 2139 der neuen AV-Karte im Norden des Schönbergs in 2100 m Höhe in den Hornsteinschichten.

33. bis 37. Mehrere unbedeutende Vorkommen in den Hornsteinschichten im Bereich der Rinnensysteme des Salzbachs (im NW des Roßbergs oberhalb der Wangalm) in 1900 bis 1960 m Höhe.

38. bis 41. Mehrere Vorkommen im NE des Scharnitzjoches in Rinnen, die zum Puitental hinabziehen, zwischen 2000 und 2040 m Höhe. Ein Vorkommen liegt in einem Aufschluß, den *Bögel* (6) beschrieben hat, in der östlichsten, Hornsteinkalk führenden Rinne östlich des Scharnitzjoches. Die übrigen Vorkommen liegen in den Hornsteinschichten, die vom Scharnitzjoch nach E streichen.

Vorkommen im Karwendelgebirge

Eine zusammenfassende Aufstellung gibt *Mutschlechner* (17).

42. Am Ladizjöchel entdeckte *Mutschlechner* kleine Gänge, die unterhalb des sogenannten Gufals in den Oberjura-Hornsteinschichten stecken. Sie sind petrographisch ähnlich dem Ehrwaldit und weichen von den, von *Richter* entdeckten Gängen, am Ladizjöchel ab.

43. Nördlich des Mahnkopfes in der Falkengruppe im Sattel beim Falkenstand in 2000 m Höhe in den Kössner Schichten.

44. bis 45. Südöstlich vom Hohljoch östlich der Reislahn in 1600 m Höhe in den Fleckenmergeln. Ebenfalls in dieser Gegend in einer Wasserrinne in 1610 m Höhe in den Hornsteinschichten.

Hier steht das Ganggestein mit den Hornsteinkalken in Kontakt. Das äußere Bild ist genau das gleiche wie bei den Gängen am Wettersteinsüdrand. Auch mikroskopisch ergab sich der gleiche Befund.

46. In den Kössner Schichten nördlich vom Engergrund in 1500 bis 1520 m Höhe. Hier finden sich mehrere kleine Vorkommen. Der Ehrwaldit dieser Vorkommen ist stark verwittert.

47. Vorkommen oberhalb der Binsalm 130 m westlich des Grameijoches. Hier fand bereits *Pichler* ein Rollstück, das *Cathrein* später beschrieb. Aus dessen Beschreibung geht hervor, daß es sich um ein, dem Ehrwaldit sehr ähnliches Gestein handelt. Das Anstehende zu diesem Vorkommen entdeckte *Mutschlechner* 1949. Leider konnte ich weder das Anstehende noch Rollstücke des Materials finden, das wohl unter jungem Murschutt liegen dürfte.

Es seien hier noch eine Reihe von weiteren Funden, zum Teil Rollstücke, erwähnt; vgl. *Mutschlechner* (17).

Die folgenden drei Vorkommen weichen in ihrer petrographischen Zusammensetzung wesentlich vom Ehrwaldit ab.

Vorkommen am Gamsangerl, 1·2 km südwestlich der westlichen Karwendelspitze in den Reichenhaller Schichten (*Mutschlechner*). Vorkommen im inneren Teil des Karwendeltales nordwestlich der Angeralm im steilen Einzugsgebiet des Stuhlgrabens südlich des Bäralps in den Reichenhaller Schichten in 1600 bis 1700 m Höhe (*Mutschlechner*). Vorkommen am Ladizjöchl in der Falkengruppe. Dieses Vorkommen wurde von *Max Richter* 1928 entdeckt und beschrieben (26). Die Gänge stecken in den Kössner Schichten und in den Fleckenmergeln. Kontakterscheinungen sind makroskopisch nicht feststellbar. *R. Lachmann* stellte nach *O. Ampferer* (1924) auch Spuren von Ehrwaldit im Bergbau-Schachtkopf bei Biberwier fest. 1930 erwähnt *Ampferer* einen Fund in den Oberjura-Hornsteinkalken beim Weiler Spadegg oberhalb der Haltestelle Imsterberg in der Venetgruppe in 1100 m Höhe. Das Stück wurde von *Albrecht Spitz* petrographisch untersucht. Näheres ist nicht bekannt.

1938 fand *Mutschlechner* am Abhang des Teufelskopfes gegen die Laliderer Alm ein Stück, das den Kontakt des Ganggesteines mit dem Oberjuraradiolarit zeigt.

1949 fand *Mutschlechner* ein kleines Stück eines graugrünen Massengesteines gegenüber Schwaz am Ostabhang der Hochnißlgruppe auf über 1000 m im Bereich des Mahdgrabens im Jura.

Der von *Mutschlechner* als abweichend von den übrigen Funden beschriebene Fund in den Reichenhaller Schichten im Norden des Mahnkopfes beim Durren-Zipfelboden wird von diesem Autor ins

Skyth gestellt. Allerdings handelt es sich bei den von *Mutschlechner* beschriebenen Feldspatleisten um eine falsche Bestimmung. Die Feldspatleisten stellten sich als Apatit heraus.

Soweit die Liste der bisher bekannten Vorkommen. Leider ändern sich die Aufschlußverhältnisse sehr rasch, da die meisten Vorkommen in Rinnen aufgeschlossen sind und dort leicht verschüttet

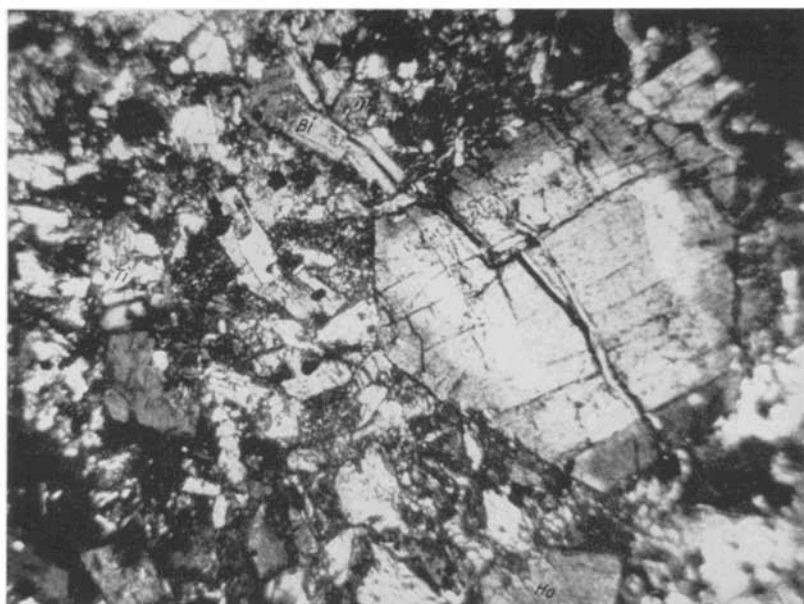


Abb. 3. Ehrwaldit, Typ I, Aufschluß 1. Idiomorpher Titanaugiteinsprengling in einer Grundmasse aus Ti-Augit (Ti), Syntagmatit (Ho), Biotit (Bi) (75 x, + Nicols).

werden können. Es ist daher zu erwarten, daß in der Folge eine Reihe von Vorkommen nicht mehr aufgefunden werden können, dafür andere neu aufgeschlossen werden. Von allen Vorkommen, die genügend frisches Material führten, wurden Proben entnommen.

B. Gesteinsbeschreibung

1. Beschreibung des Typus I, Übersicht über den Mineralbestand

Da das Gestein in seiner Zusammensetzung wechselt, sei hier zunächst der Grundtypus beschrieben, wie er im Aufschluß 1 auftritt. Von diesem Typus lassen sich sämtliche im Wetterstein- und Karwendelgebirge auftretenden Ehrwaldittypen ableiten. Das frische Gestein ist sehr dicht und zähe und im Anbruch grauschwarz mit einem leichten Ton ins grünliche. Angewittert ist das Gestein dunkel-

graugrün. Es ist außerordentlich feinkörnig, makroskopisch sind nur die relativ seltenen Einsprenglinge von Augit und Olivin zu erkennen. Die kurzsäuligen Augiteinsprenglinge heben sich von dem ohnehin schon dunklen Gestein schlecht ab. Auffällig sind dagegen die serpentinisierten Olivineinsprenglinge, die große glänzende Flächen zeigen. Der maximale Durchmesser der beiden Einsprenglingsarten beträgt um 1 cm.

Unter dem Mikroskop ergibt sich folgendes Bild:

In einer aus Glas oder zersetztem Glas bestehenden Basis finden sich Querschnitte von hypidiomorphen Augit, daneben Hornblende, Serpentin, Biotit, Titanomagnetit und Apatit. In der so struierten Grundmasse schwimmen einzelne Querschnitte von Titanaugit und Serpentineinsprenglingen (vgl. Abb. 3). Wir haben also eine hypokristallin-porphyrische Struktur vorliegen. Die einzelnen Komponenten kommen in der Folge zur Beschreibung. Es wird damit gleichzeitig eine Übersicht über den Mineralbestand der Ehrwaldite gegeben werden, so daß bei der Beschreibung der verschiedenen Typen nicht mehr auf die Optik der einzelnen Komponenten eingegangen wird, was die Beschreibung unübersichtlich gestalten würde. Abweichungen werden gesondert behandelt.

Die berechnete Dichte des Gesteins beträgt $D = 3.20$.

Die gemessene Dichte des Gesteins beträgt $D = 2.96$.

Die Differenz ist auf Umwandlungerscheinungen zurückzuführen. Der Basis wurde die Dichte von $D = 2.80$ zugrundegelegt.

Mikroskopisch ergibt sich folgende Zusammensetzung:

	Gewichtsprocente (berechnet aus den Volumenprozenten)	Volumenprocente (gemessen)
<i>Einsprenglinge</i>		
Augit	—	5
Olivin (serp.)	—	3
<i>Grundmasse</i>		
Augit	40 (gesamt)	33
Olivin	12.5 (gesamt)	9
Hornblende	7	7
Biotit	4	4
Ti-Magnetit	5	3
Apatit	2	2
Basis (Glas, Unauflösbares)	29.5	34
Summe	100	100

Augit

Als Einsprenglinge meist deutlich idiomorph, mit einem größten Durchmesser von etwa 3 mm bis 1 cm. Farbe: lichtbräunlich (fast farblos) //x, mit einem leichten Pleochroismus gegen violettbraun //z. Die Spaltbarkeit nach (110) ist stets vorhanden, jedoch von wechselnder Deutlichkeit. Licht und Doppelbrechung sind mittelstark, die Doppelbrechung reicht bis zum Blau II bei normaler Schliffdicke. Zonare Auslöschung und Sanduhrbau sind besonders bei den Einsprenglingen zu beobachten. Charakteristisch ist die deutliche Auslöschungsdispersion. Der aus über 30 Messungen ermittelte Achsenwinkel beträgt $2V_z = 52.5^\circ$, bei maximalen Schwankungen von $\pm 3^\circ$; $z \wedge c$ zirka 44° . Die Achsendispersion $r \gg v$ ist so stark, daß bei weißem Licht nie völlige Auslöschung eintritt. Durch diese Daten ist der Augit als Titanaugit charakterisiert.

Die Augite der Grundmassegeneration zeigen gleiche optische Eigenschaften wie die Einsprenglinge, meist keinen deutlich erkennbaren Sanduhrbau und seltener zonare Auslöschung. Sie bestehen aus gestreckten Querschnitten mit mehr oder weniger geraden Seitenkanten sowie stumpfen Endbegrenzungen. Die Prismen haben eine Länge von etwa 0.1 bis 0.2 mm. Verwachsungen mit Hornblende sind häufig. Zwillinge nach (100) wurden beobachtet. Die Prismen zeigen sich häufig sphärisch angeordnet und bilden dann Ansammlungen, in denen die Augitquerschnitte radspeichenartig gruppiert sind (siehe auch unter: „Sphärische Inhomogenitäten“).

Hornblende

Sie tritt lediglich als Grundmassebestandteil auf. Neben charakteristischen rhombenförmigen Querschnitten sowie geradlinigen Begrenzungen sind vielfach Querschnitte mit lappigen Umrissen zu beobachten. Der maximale Durchmesser der Kristalle beträgt um 0.3 mm. Hornblende tritt in äußerlich zwei verschiedenen Erscheinungsformen auf:

1. als primäre Ausscheidung,
2. als Saum um Augit.

Beide Arten gehören jedoch offenbar derselben Bildungsphase an. Die optischen Eigenschaften sind dieselben. Die Spaltbarkeit nach (110) ist nicht immer gut sichtbar. Der starke Pleochroismus reicht von lichtgelbbraun //x nach dunkelbraun //z (mit einem Stich ins rötliche). Die mittelkräftige Doppelbrechung wird durch die starke Eigenfarbe etwas überdeckt. Der Achsenwinkel $2V_x$ beträgt im Mittel 80.4° bei maximalen Schwankungen von $\pm 2^\circ$; $z \wedge c$ zirka 12° . Zwillinge nach (100) wurden beobachtet. Die optischen Daten treffen für Titanhornblende (Syntagmatit) zu.

Olivin (Serpentin)

Neben den selteneren großen Querschnitten tritt er in kleineren Kristallen in regelmäßiger Verteilung in der Grundmasse auf. Die Größe der Einsprenglinge beträgt bis 1·2 cm. Die kleinere Generation hat Durchmesser von 0·3 mm und mehr. Während die großen Querschnitte oft gerade Begrenzungen zeigen, besteht die kleinere Generation aus rundlichen oder schlecht sechseckigen, für Olivin charakteristischen Querschnitten. Die meisten Olivine sind serpentiniert, lediglich im Aufschluß 2 konnten Proben gesammelt werden, die noch Reste unzersetzten Olivins (der kleinen Generation) enthielten. Der Olivin hat einen Achsenwinkel von $2V = 80^{\circ} - 85^{\circ}$. Es handelt sich also um einen forsteritreichen Olivin (Chrysolith). Der Serpentin kommt unter „sekundäre Minerale“ zur Beschreibung.

Biotit

Er ist in geringem Maße vorhanden. Er tritt nur als Grundmassebestandteil auf und findet sich vielfach in Nestern angereichert. Neben gestreckten Schnitten aus der Zone der c-Achse finden sich auch Basisschnitte mit pseudohexagonalen Umrissen. Auch lappige Querschnitte sind häufig. Der maximale Durchmesser größerer Kristalle beträgt 0·5 mm, im allgemeinen jedoch zirka 0·2 mm. Der Pleochroismus reicht von lichtgelbbraun //x nach dunkelrotbraun //z. Die starke Rottönung von n_z läßt auf einen hohen Ti-Gehalt schließen.

Apatit

Er ist immer, wenn auch meist in nur geringer Menge, vorhanden und bildet Einschlüsse in sämtlichen übrigen Gesteinsgemengteilen mit Ausnahme von Olivin. Neben sechseitigen Basisschnitten zeigen sich häufige Schnitte aus der Zone der c-Achse, die eine Länge bis 1 cm erreichen. Die Breite der Querschnitte liegt unter 0·05 mm. Mit Olivin gehört Apatit zu den frühesten Ausscheidungen der Schmelze.

Erz

Die sehr kleinen Körnchen (0·05 mm und kleiner) finden sich gleichmäßig über das ganze Gestein verteilt. Quadratische Querschnitte sind häufig, daneben auch dreieckige. Der größte Teil des Erzes ist Titanomagnetit, daneben findet sich aber auch, wie die erzmikroskopische Untersuchung zeigte, Pyrit. Häufige Erzsäume um die Olivinseudomorphosen dürften deuterischer Natur sein.

Basis

Die mit lichtmikroskopischen Mitteln nicht auflösbare Basis besteht aus bräunlichem Glas, das häufig ein Gewirr feinsten Nadelchen

enthält. Die Nadelchen zeigen schiefe Auslöschung und dürften Augitmikrolithen sein, die ihre Entstehung wohl einer gewissen Entglasung verdanken. Häufig ist das Glas bereits chloritisiert. Der grünliche Chlorit besteht aus feinsten Sphärolithen.

2. Sekundäre Minerale. Umwandlungserscheinungen

Der Serpentin wurde bereits erwähnt. Zwei Arten lassen sich unterscheiden:

1. Der Serpentin der kleinen Pseudomorphosen.

Farbe lichtgelblich //z mit leichtem Pleochroismus gegen gelbgrün //x. Achsenwinkel $2 V_x$ groß, nicht exakt meßbar. Die Doppelbrechung erreicht bei normaler Schliffdicke das Blau II. Der Serpentin ist faserig, in der Längsrichtung der Fasern liegt n_z . Durch die Pseudomorphosierung wurden die Umrisse des Olivin mehr oder weniger verwischt. Bei diesem soeben beschriebenen Serpentin-mineral dürfte es sich um Chrysotil handeln.

2. Der Serpentin der Einsprenglinge.

Der Serpentin ist lichtgrün gefärbt und bildet schon makroskopisch gut erkennbare, blättrige Aggregate. Die Querschnitte zeigen unter dem Mikroskop rechteckige Formen. Die Lichtbrechung liegt bei 1·6, die Doppelbrechung ist niedriger als beim Serpentin der Kleinen Generation. Der Achsenwinkel ist $2 V_x = 45^\circ$. Hier handelt es sich um Antigorit, also die Stressmodifikation des Serpentin. Die Umrißformen legen den Verdacht nahe, daß es sich hierbei um blättrige Pseudomorphosen nach Orthopyroxen, also um Bastit, handelt. Da die Umwandlung der Einsprenglinge stets eine vollkommene ist, läßt sich der Beweis, woraus der Antigorit entstanden ist, nicht mehr exakt führen. Gesichert als Olivinpseudomorphose ist also lediglich die kleine Generation. Diese zeigt häufig Erzsäume (Magnetit), oder auch in gestreckten Schnitten in der Mitte des Kristalls in der Längsrichtung aufgereihte Erzsnüre. Das Erz dürfte deuterischer Natur sein und der Umwandlung des Olivins entstammen. Es ist wahrscheinlich, daß nach hydrothermalen Bildung von Chrysotil, dieser in einer späteren Phase unter Stressbeanspruchung in Antigorit umgewandelt wurde. So wäre zu erklären, daß größere Kristalle von Serpentin Antigorit sind, kleinere, vom Stress noch nicht erfaßte dagegen Chrysotil.

Chloritisierungserscheinungen der Glasbasis wurden bereits erwähnt. Auch die Augiteinsprenglinge zeigen Chloritisierung von innen her. Dabei sind die randlichen Partien der Einsprenglinge meist noch gut erhalten, während die Querschnitte im Inneren von einem Maschennetz von Chlorit durchzogen sind (Abb. 4). Ebenso zeigt der Biotit Zersetzungserscheinungen in Chlorit.

Von außen zeigt der Augit häufig eine Umwandlung in Hornblende. Auf diese Erscheinung sowie auf Zeolithisierungserscheinungen der Basis wird gesondert bei der Beschreibung von Typ II eingegangen.

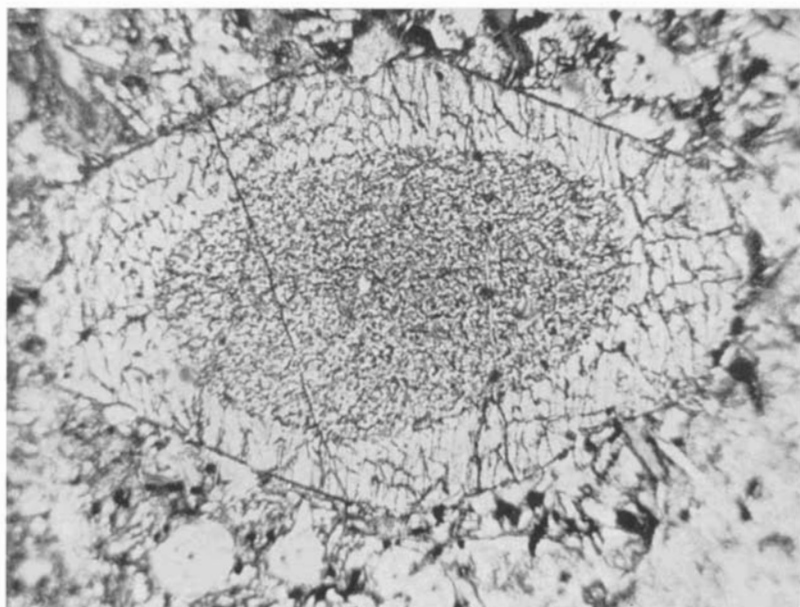


Abb. 4. Ti-Augiteinsprengling, Choritisierung von innen her (70 \times , 1 Nicol).

Sonnenbrennereigenschaften

Der Kurznachweis für Sonnenbrand wurde durch Kochen in Salzsäure geführt. Nach etwa 10 Minuten traten weiße Flecken im Gestein auf. Schon durch den starken Zerfall des Gesteins bestand Verdacht auf Sonnenbrand. Nach *T. H. Ernst* und *F. K. Drescher-Kaden* ist für den Sonnenbrand die Gegenwart von Analcim neben Nephelin verantwortlich (Lit. siehe unter 11). Analcim scheint in geringen Mengen in Zwickeln von Typ II des Ehrwaldites vertreten zu sein.

3. Mandelausbildungen und andere zentrische Inhomogenitäten

Unter den in allen Ehrwalditen vereinzelt oder auch häufiger auftretenden Mandeln lassen sich verschiedene Arten unterscheiden. Sie seien hier in der Folge kurz beschrieben.

1. Chloritmandeln.

Im Aufschluß 6 findet sich neben dem üblichen Ehrwaldit ein Salband, das eine Mandelsteinfazies des Gesteins darstellt. Die Mandeln geben dem Gestein schon äußerlich ein geflecktes Aussehen. Sie zeigen runde und gestreckte Querschnitte mit einem Durchmesser um 2 mm. Unter dem Mikroskop zeigen sie eine deutliche Abgrenzung gegen das umliegende Gestein. Es handelt sich bei diesen Mandeln um echte Hohlraumfüllungen. Von außen nach innen ergibt sich folgendes Bild: die Grenze gegen das umliegende Gestein bildet teils ein aus faserigem Chlorit gebildeter Saum, teils Chloritsphärolithe. Der Chloritsaum zeigt zonaren Aufbau, parallel der Mandelwand. Die Sphärolithe sind ebenfalls zonar gebaut. Die Randzone des Saumes ist lichtgelblich ohne Pleochroismus. Gegen das Innere der Mandel folgt eine farblose Zone, die dann in eine olivgrüne, leicht pleochroitische Zone übergeht. Die Lichtbrechung nimmt von außen nach innen hin ab, die Doppelbrechung steigt in der gleichen Richtung leicht an. Die Lichtbrechung liegt stets über Kanadabalsam, die Doppelbrechung liegt unter der von Quarz. In den Sphärolithen zeigt sich die geschilderte Reihenfolge von innen nach außen. Es dürfte sich um eine Delessitabfolge handeln.

Auf diesen Chlorit-Randbereich folgen zwei Arten von Mandelfüllung:

- a) eine Auskleidung mit Karbonat,
- b) eine weitere Abfolge von Chloritmineralien.

Diese zeigt nach innen zu abnehmende Lichtbrechung und zunehmende Doppelbrechung.

2. Die Mandeln in der sogenannten Mandelsteinausbildung des Ehrwaldits.

Schon in der älteren Literatur ist von einem Mandelsteintypus des Ehrwaldits die Rede (25). Makroskopisch zeigt das Gestein mehr oder weniger regelmäßig verteilte weiße Flecken. Die Flecken zeigen im Anschliff runde oder auch mehr lappige Querschnitte. Der größte Durchmesser dieser Flecken beträgt meist unter 3 mm. Nur selten finden sich Durchmesser von $\frac{1}{2}$ cm und mehr.

Unter dem Mikroskop erweisen sich die Flecken als zeolithführende Bereiche im Ehrwaldit. Diese Bereiche sind selten scharf gegen den Ehrwaldit abgegrenzt. Vielfach gehen sie in die Grundmasse des umgebenden Gesteins über. In diesen sogenannten Mandeln findet sich hauptsächlich Natrolith, der faserige Aggregate bildet. Der Achsenwinkel $2V_z$ beträgt 58° ; $z \parallel c$. Die Spaltbarkeit ist nicht an allen Querschnitten zu sehen, jedoch im allgemeinen

recht gut. Daneben scheint auch Analcim vertreten zu sein. Andere Zeolithe waren wegen ihrer Kleinheit nicht bestimmbar. Sie bilden ein spreusteinartiges Gemisch. In geringer Menge findet sich in den Mandeln Karbonat und Chlorit. Der Chlorit bildet stets kleine Sphärolithe. Im Randbereich dieser sogenannten „Mandeln“ finden sich häufig Anreicherungen stengelig ausgebildeter Hornblenden (Syntagmatit), deren Kristallquerschnitte gute Seitenbegrenzungen zeigen, jedoch stumpfe oder auch gezackte Endbegrenzungen besitzen. Die Querschnitte finden sich in einer spreusteinartigen Grundmasse, die wahrscheinlich ein Entglasungsprodukt darstellt, da sich in den Randbereichen der „Mandeln“ häufig von Spreustein durchsetzte Glasreste finden. Neben Hornblende ist in diesen Randbereichen auch häufig Apatit angereichert. Die Anordnung der Natrolithe in diesen „Mandeln“ ist nicht wandständig, sondern scheint \pm unregelmäßig zu sein. Die Füllung mit Zeolithen (Analcim und Natrolith) ist wohl sekundär erfolgt, infolge Entglasung.

3. Weitere Mandeltypen.

Weitere Mandeltypen finden sich in verschiedenen Aufschlüssen. Besonders auffällig ist eine Art, die makroskopisch als rote Flecken hervortritt. Diese ziegelroten Flecken zeigen mehr oder weniger rundliche Querschnitte bei einem Durchmesser von 2 mm.

Unter dem Mikroskop sind die Mandeln deutlich gegen das Nebengestein abgegrenzt. Sie enthalten ein Mineral mit niedriger Licht- und Doppelbrechung, kurzen, scharfen Spaltrissen und gerader Auslöschung. Der optische Charakter ließ sich nicht eindeutig feststellen, scheint jedoch zweiachsig $+$ zu sein. Zonar eingelagert finden sich in diesen Kristallen massenhaft kleine Körnchen von Limonit?. Die Limonitkörnchen finden sich in so großer Menge, daß die Querschnitte des Wirtsminerals stark getrübt erscheinen. Das Wirtsmineral dürfte ein Zeolith (Heulandit?) sein. Neben Heulandit findet sich in den Mandeln noch Karbonat. Weitere Mandeln, die aber seltener sind, führen Analcim sowie selten Apophyllit.

Die verschiedenen Arten von Mandeln finden sich in einer Reihe von Aufschlüssen an der Südabdachung des Hochwannerkammes im Wettersteingebirge.

4. Andere zentrische Inhomogenitäten

Die in der Folge zur Beschreibung kommenden Gebilde zeigen mandelähnliche Ausbildung, unterscheiden sich jedoch in einigen wesentlichen Punkten von solchen. Es scheint daher angebracht, sie in einem eigenen Kapitel zu beschreiben.

Die Gebilde heben sich vom Gestein makroskopisch kaum ab, sie zeigen länglich gestreckte ovale, und runde Querschnitte mit einem Längsdurchmesser bis zu 1·5 cm. Unter dem Mikroskop ergibt sich folgendes Bild: (Beschreibung der Inhomogenität von außen nach innen): Es zeigt sich gegen das umliegende Gestein keine scharfe Grenze. Vielmehr wird die Grundmasse des umliegenden Gesteins gegen das Gebilde hin immer augitreicher und geht in einen, aus

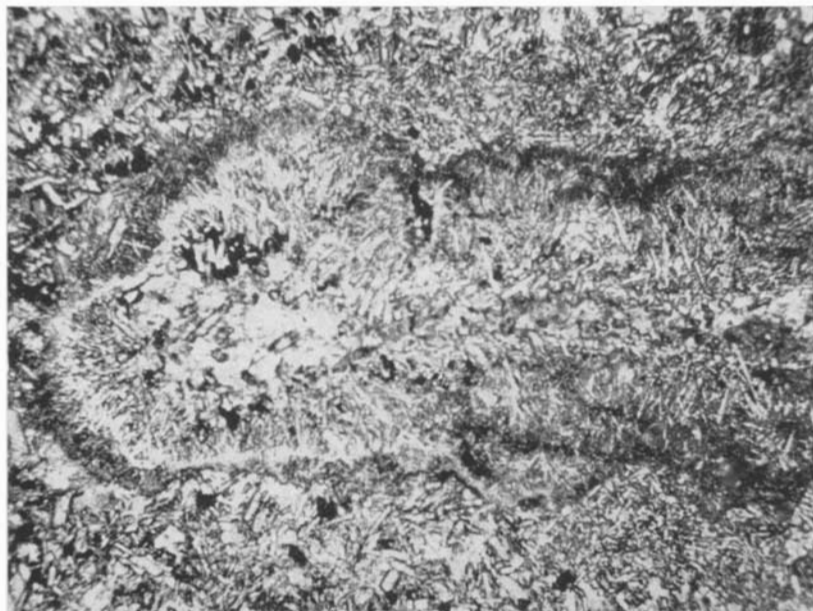


Abb. 5. Scheinmandel, Typ 1, Randlich Augitsaum, innen Sedimentreste ($47\times$, 1 Nicol).

wir durcheinanderliegenden, winzigen Augitnadelchen gebildeten Filz über. Weiter gegen innen hin geht der Filz in ein geregeltes Gefüge senkrecht zur Außenwand der Inhomogenität stehender Augitnadelchen über. Die Größe der Nadelchen nimmt von außen gegen innen hin zu. Das innerste der Scheinmandel ist von Karbonat erfüllt, das zum Teil nicht im Größenbereich der Auflösbarkeit des Mikroskops kristallisiert ist. Das Karbonat ist von tonigem Material, sowie einzelnen bis zu 0·15 mm langen Augiten durchsetzt. Diese Augite zeigen im Gegensatz zu den randlichen, braune Hornblendesäume und keine wahrnehmbare Regel mehr. In der gesamten Scheinmandel finden sich vereinzelt Erzkörnchen, deren Durchmesser 0·1 mm nicht übersteigt (Abb. 5). Die Bildung der beschriebenen Inhomogenität ließe sich etwa wie folgt erklären:

Ein vom Magma mitgerissenes Sedimentteilchen wird unter Reaktion mit der Schmelze zersetzt. In den um das Bröckchen entstehenden Blasenraum (durch Freiwerden von CO_2) wachsen Augitkristalle hinein. Im Sedimentrest setzt ebenfalls Bildung von Augit ein. Da die Erstarrung des Magmas schon weit fortgeschritten ist, wird nicht das gesamte Sediment resorbiert. Die beschriebenen Gebilde wurden in Proben aus Aufschluß 1 gefunden.

Ähnliche Inhomogenitäten zentrischen Baues stellen z. B. Kugeln in Kugelgraniten (Orbikuliten) dar, deren Bildung sich vielfach auf unverdaute Reste von Fremdmaterial im Magma zurückführen läßt. Ähnliches gilt für die sogenannten basischen Konkretionen.

5. Andere Ehrwaldittypen

Aus unterer Tabelle ist ersichtlich, daß die Schwankungen des Gehaltes an verschiedenen Komponenten hauptsächlich auf dem Augit-Hornblende-Verhältnis sowie auf dem Biotitgehalt beruhen

Zusammensetzung verschiedener Ehrwaldittypen

Aufschluß-Nr.	1	2	13	16	8	Durchschnitt	Träger 1935
Analyse-Nr.	1	2	4	3	—		
Augit (Einspr.)	5	2	1	1	1	—	—
Augit (Grundm.)	33	24	36	32	36	34	35
Hornblende	7	26	9	16	12	14	5
Serpentin	12	8	12	12	8	10	10
Biotit	4	5	1	6	± 0	3	15
Erz	3	3	7	3	4	4	} 5
Apatit	2	2	2	2	2	2	
Basis (Glas, Unauflösbares)	34	30	29	29	38*	33	30
Summe	100	100	100	100	100	100	100
Typ-Nr.	I	II					
Summe (Augit und Hornblende)	45	52	46	48	48	48	—

* einschließlich zirka 10% Mandeln

(vgl. auch das Schema in der Beilage). Die Typendifferenzierung erstreckt sich weniger auf den Chemismus als auf den Mineralgehalt des Gesteins. Ein der Trögerschen Integration (31) entsprechender Typ mit wenig Hornblende und reichlich Biotit konnte nicht gefunden werden. Auch das im Institut vorhandene Sammlungs-

material zeigt keinen derartigen Typus. Es wäre möglich, daß es sich bei dem Trögerschen Material um eine biotitreiche Schliere handelte.

Zwischen Typ I und II finden sich Übergänge. Doch sind die augitreichen Varietäten häufiger als die hornblendereichen.

Typ I wurde bereits beschrieben. In der Folge kommt nun Typ II zur Beschreibung sowie solche Vorkommen, die gegenüber diesen Typen Abweichungen zeigen, aber an sich nicht als andere Typen bezeichnet werden können.

Beschreibung der anderen Ehrwaldittypen

Typ II

Makroskopisch erscheint Typ II noch dunkler als Typ I. Das Gestein ist dunkelgraugrün. Sonst makroskopisch gleiche Eigenschaften wie Typ I. Die mengenmäßige Verteilung der Komponenten ist aus der Integration Nr. 2 ersichtlich. Es handelt sich hierbei um einen Typ, der gleichviel Hornblende wie Augit enthält. Einsprenglinge von Augit sind seltener als bei Typ I und machen nur etwa 2% des Gesamtgesteines aus. Die Grundmassegeneration von Augit zeigt Querschnitte bis zu 0.3 mm. Das Gestein ist damit grobkörniger als Typ I. Die Struktur ist hypokristallin-körnig, oder auch hypokristallin-porphyrisch (Abb. 6). Die Hornblende zeigt idiomorphe Querschnitte. Die optischen Eigenschaften der Hornblende sind dieselben wie bei Typ I. Die Querschnitte der Hornblende sind jedoch größer (bis zirka 0.3 mm) als bei Typ I. Sie umschließen vielfach einen Augitkern, der dann inmitten des Hornblendequerschnittes als kleiner Rest erhalten ist und sich durch höhere Interferenzfarben sowie durch das Fehlen eines Pleochroismus von der Hornblende gut unterscheidet. Viele Augitquerschnitte zeigen nur schmälere Hornblendesäume (Abb. 6). Zusammenhängende Bereiche eines solchen Saumes zeigen stets gleiche Orientierung der Hornblende. In einer für die Hornblendebildung günstigen Phase (hoher H_2O -Partialdruck) fand also in diesem Typ offenbar Hornblendebildung an Stelle der Bildung der Augitgrundmassegeneration statt. Wieweit dabei Pseudomorphosierungen des Augit durch Hornblende stattfanden, läßt sich nicht entscheiden. Daß solche Pseudomorphosierungen, die somit als Uralit zu bezeichnen wären, stattfanden, ist auf Grund obiger Beobachtungen sehr wahrscheinlich.

Auffällig sind in diesem Typ II Bereiche hyaliner Natur, die in ihrer Mitte frei von Kristallen sind oder nur vereinzelt idiomorphe Hornblendequerschnitte enthalten. Am Rande dieser Bereiche finden sich dann oft Anreicherungen idiomorpher Hornblenden, von denen

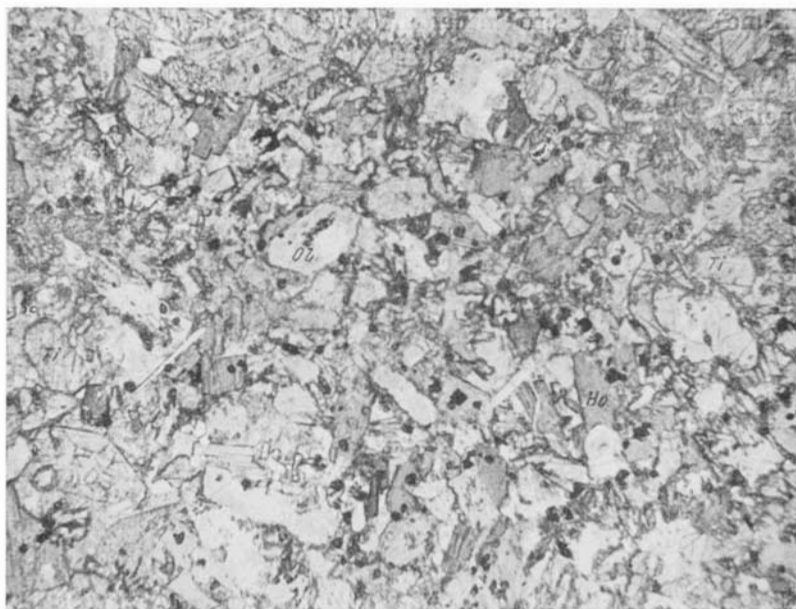


Abb. 6. Hornblende-Ehrwaldit. Syntagmatit (Ho), Titanaugit (Ti), Olivin, serp. (ol), Akzessorien (10 ×, 1 Nicol).

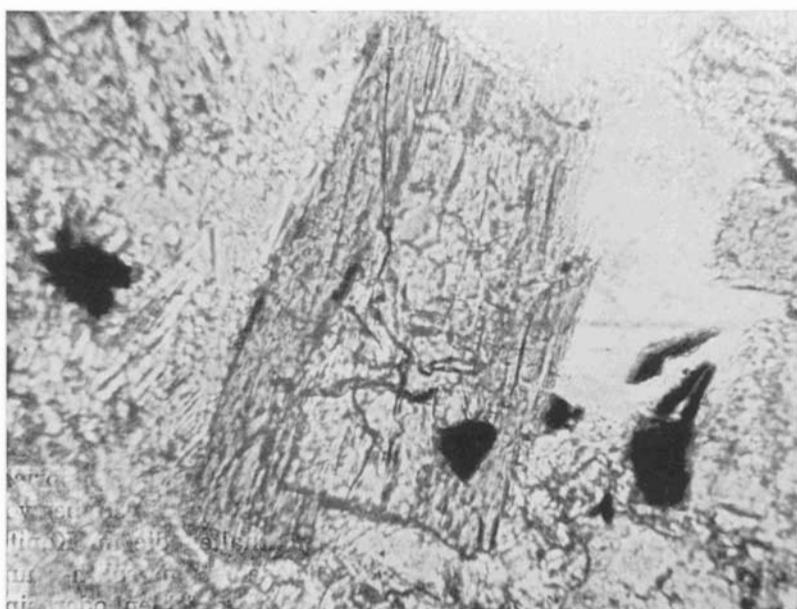


Abb. 7. Titanaugit mit randlichem Hornblendesaum, Uralitisierung (290 ×, Nicol).

einzelne einen Augitkern enthalten (Abb. 7). In diesen Hornblende-anreicherungen treten oft zahlreiche Apatite auf. Auch Biotite finden sich hier häufiger als im allgemeinen. Von Augit sind diese Zonen frei.

Die in diesen Bereichen oft langprismatisch ausgebildeten Hornblenden wurden von *Matthäus Schuster* (25) als barkevikitische Hornblende beschrieben. Es handelt sich jedoch wie U-Tischmessungen zeigten, um langprismatisch ausgebildeten Syntagmatit ($2 V_x 80^\circ$, Barkevikit: $2 V_x$ zirka 50° , Auslöschungsschiefe $x \wedge c$ beim Syntagmatit zirka 10° , Barkevikit $25\text{--}30^\circ$). Neben diesen hyalinen Bereichen treten auch Bereiche auf, in denen die Augitgrundmassegeneration normal, d. h. wie bei Typ I entwickelt ist.

Olivin ist in Typ II in geringerer Menge vertreten als in Typ I. Die Größe der Olivinquerschnitte (serpentinisiert) übertrifft zwar die Grundmassegeneration aus Augit und Hornblende um etwa das Doppelte (Größe um 0.6 mm), doch sind die Einsprenglinge wesentlich kleiner als bei Typ I. Der Olivin ist wie Typ I zur Gänze serpentinisiert.

Biotit tritt als Gemengteil mit 5% bereits stark zurück. Die meisten Biotite finden sich in den Bereichen, in denen auch der Syntagmatit angereichert ist. Da vielfach ähnliche Querschnitte bei Biotit und Syntagmatit auftreten, beim Syntagmatit die Spaltbarkeit vielfach aber nur schlecht zu erkennen ist, und da auch ähnliche Farben (rotbraun) bei beiden Mineralien auftreten, ist eine Verwechslung beider leicht möglich.

Die Gemengteile Apatit und Erz finden sich in der gleichen Größe und quantitativen Menge wie bei Typ I.

Typ II tritt in der beschriebenen Form in Aufschluß Nr. 2 auf. Dieser Typ II zeigt auch eine mandelführende Abart, die charakteristisch in den Aufschlüssen Nr. 3 und 4 bei Ehrwald auftritt, und bereits früher als Ehrwaldit-Mandelstein bezeichnet wurde (25). Ich möchte diesen Typ II wegen seiner reichen Hornblendeführung als Hornblende-Ehrwaldit bezeichnen und gehe dabei von Typ I als Grundtyp aus.

Aufschluß Nr. 3, 4: „Ehrwalditmandelstein 1“

Die mengenmäßige Verteilung der Komponenten entspricht Typ II. Das Gestein zeigt die gleiche Farbe wie Typ II, ist aber von reichlich weißen Flecken durchsetzt. Sie enthalten die im Kapitel „Mandelausbildungen“ unter 2. beschriebenen natrolith- und analcimführenden Mandeln. Augiteinsprenglinge fehlen oder sind sehr selten. Serpentin tritt bereichsweise stark zurück, besonders

in Bereichen mit einer Anhäufung von Mandeln, oder auch in hyalinen Bereichen mit randlicher Anreicherung von Hornblendemikrolithen.

Aufschluß Nr. 5, 6

In diesen Aufschlüssen ist der Ehrwaldit stark verwittert und zeigt teilweise bereits karbonatisierte Zonen. Die Zusammensetzung entspricht Typ I, jedoch wurden keine Augiteinsprenglinge beob-

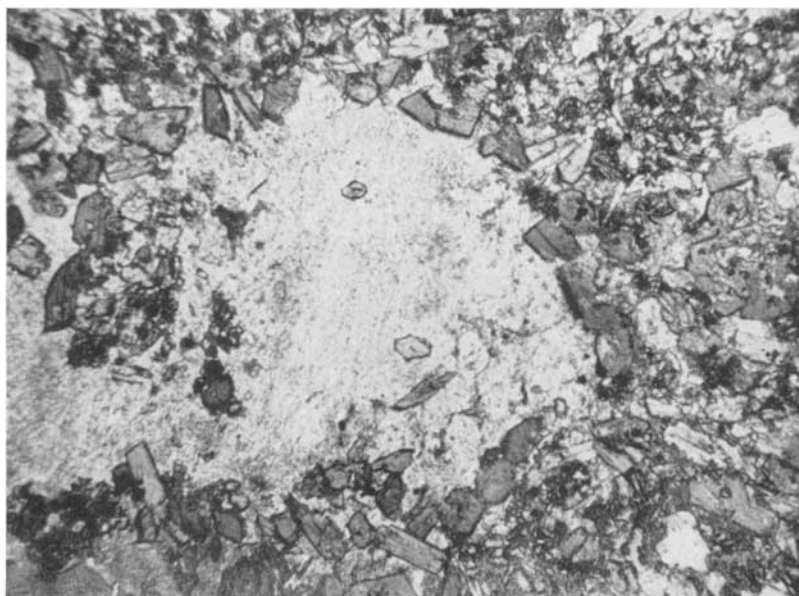


Abb. 8. Hornblende-Ehrwaldit. Hyaliner Bereich mit randlicher Anreicherung von Syntagmatit (38 x, 1 Nicol).

achtet. Die Einsprenglinge von Olivin erreichen nur eine geringe Größe (bis $\frac{1}{2}$ mm). Es handelt sich also um eine mikroporphyrische Ausbildung des Ehrwaldites.

Aufschluß Nr. 7—25

Viele dieser Vorkommen (7—25) sind sehr stark verwittert. Das Gestein zeigt häufig eine Mandelsteinausbildung, auf die gesondert eingegangen wird. Das Gestein ist allgemein sehr feinkörnig und zeigt eine Grundmasse wie bei Typ I. Daneben finden sich aber in fleckiger Verteilung hyaline Bereiche mit randlicher Anhäufung von Syntagmatit wie bei Typ II. Der Syntagmatit erreicht jedoch nur etwa 0.1 mm Größe (bei Typ II 0.2 mm und mehr). Das Gestein

steht also zwischen Typ I und Typ II, wobei die mengenmäßige Verteilung der Komponenten sowie die Körnigkeit mehr dem Typ I entspricht. Augiteinsprenglinge wurden selten beobachtet und erreichen selten die Größe wie bei Typ I. Olivin findet sich ebenfalls nur in sehr kleinen Einsprenglingen.

„Ehrwalditmandelstein II“

In einer Reihe von Aufschlüssen findet sich bereichsweise eine Anreicherung von Mandeln im Ehrwaldit, die dem Gestein ein miarolithisches Aussehen gibt. Die Mandelführung wechselt im dm-Bereich. Zwei Arten von Mandeln lassen sich bereits makroskopisch unterscheiden:

1. weiße Mandeln mit runden oder auch gestreckten bis lappigen Querschnitten von zirka $\frac{1}{2}$ —2 mm (bis selten 5 mm) Durchmesser.
2. Querschnitte von ziegelroten Mandeln. Sie zeigen gleiche Umrißformen, aber geringere Größe als die weißen Mandeln.

Die weißen Mandeln sind im Kapitel „Mandelausbildungen“ unter 1. als chlorit- und karbonatführende Mandeln beschrieben. Die roten Mandeln sind in demselben Kapitel unter 3. beschrieben.

Eigenartigerweise finden sich in dem Mandelsteintyp II keine natrolith- oder analcimführenden Mandeln. Es ergibt sich daraus die Berechtigung, von zwei verschiedenen Mandelsteintypen des Ehrwaldites zu sprechen.

Besonders gut ausgebildet findet sich Mandelsteintyp II in Aufschluß Nr. 8. Er findet sich ebenso in einer Reihe weiterer Aufschlüsse in der Jungschichtenzone am Südhang des Hochwannerkammes im Wettersteingebirge.

Aufschluß Nr. 26—30

Gut aufgeschlossen ist lediglich Nr. 30 (Aufschluß im Neocom beim Mitterjöchel). Das Gestein entspricht in Zusammensetzung und Struktur fast völlig Typ I. Die Augiteinsprenglinge erreichen bis 1 cm Durchmesser. Die serpentinisierten Olivineinsprenglinge werden nur etwa 2 mm groß. Sie zeigen häufig randlich angeordnete Erzsäume.

Aufschluß Nr. 31—41

Die unbedeutenden Aufschlüsse zwischen Rotmoosalm und Scharnitzjoch enthalten das gleiche Gestein wie es bei den Aufschlüssen 7—25 beschrieben wurde. Das Gestein ist durchwegs stark zersetzt. Die Aufschlüsse östlich des Scharnitzjoches zeigen dagegen wieder frischeres Material vom Mandelsteintyp II.

Aufschluß Nr. 42 (Ladizjöchl, Karwendel)

Das stark zersetzte Gestein zeigt alle wichtigen Ehrwalditkomponenten. Augit findet sich in Form von Einsprenglingen sowie in der Grundmasse, wobei er oft in erheblichem Maße angereichert ist. Er bildet dann doleritische Massen, die frei von anderen Komponenten sind. Diese starke Anreicherung findet sich allerdings nur im Zentimeterbereich. Hornblende ist relativ selten. Somit entspricht das Gestein dem Typ I. Als Besonderheit sind Titaneisen-Skelette zu beobachten, die bis einige Millimeter Größe haben. Das Gestein enthält bis zu 1 cm große Mandeln, die mit Analcim und Karbonat ausgekleidet sind.

Der Gang wurde von *Mutschlechner* unterhalb des Gufals am Ladizjöchl entdeckt und hat nichts mit den von *Max Richter* am Ladizjöchl entdeckten Gängen zu tun, auf die gesondert eingegangen wird.

Aufschluß Nr. 44—46 (Hohljoch, Engergrund, Karwendel)

Die zwischen Hohljoch und Engergrund von *Mutschlechner* entdeckten Gänge zeigen petrographisch völlige Übereinstimmung mit den Gängen an der Südabdachung des Wettersteinhauptkammes. Das Gestein ist frei von Augiteinsprenglingen. In der augitreichen Grundmasse finden sich in fleckiger Verteilung hyaline Bereiche mit randlicher Anreicherung von Hornblendemikrolithen. Olivin findet sich in kleinen Einsprenglingen wie in den Aufschlüssen 5, 6.

Aufschluß Nr. 47

Da es mir leider nicht gelang, den Aufschluß, der von *Mutschlechner* beschrieben wurde, aufzufinden und mir *Mutschlechner* keine Proben des Gesteins zur Verfügung stellte, ist es mir nicht möglich, einen Vergleich des Gesteins mit dem Ehrwaldit zu geben. Nach den Berichten älterer Autoren (8) scheint es sich jedoch um einen mandelführenden Ehrwaldit zu handeln. Es erscheint mir zweifelhaft, ob das von *Mutschlechner* in den Reichenhaller Schichten gefundene Anstehende tatsächlich das Anstehende zu dem erratischen Block *Pichlers* ist. Die übrigen Vorkommen von Massengestein in den Reichenhaller Schichten im Karwendel unterscheiden sich nämlich grundsätzlich vom Ehrwaldit.

6. Die von Max Richter beschriebenen Gänge am Ladizjöchl

Max Richter gibt in einer Veröffentlichung 1928 (26) eine kurze mikroskopische Beschreibung dieser Gänge.

Er bezeichnet sie als Olivindiabase ohne makroskopisch erkennbare Einsprenglinge und gibt Biotit, selten serpentinierten, meist

schon karbonatisierten Olivin, gerade noch erkennbaren Feldspat sowie eine im Calcit umgewandelte Grundmasse, in der reichlich Magnetit auftritt, an.

Richter erwähnt, daß im Vergleich zum Ehrwaldit Augit fehlt, stellt aber gleichzeitig fest, daß das Gestein der mikro-porphyrischen Ausbildungsform (nach *Schuster*) recht nahe steht. Er vermutet in den Gängen, die in den Fleckenmergeln und in den Kössner Schichten stecken, die Zufuhrkanäle zu den vor *Richter* nur aus jüngeren Einheiten bekannten Ehrwalditvorkommen.

Bemerkenswert ist an diesen Gängen am Ladizjöchel das völlige Fehlen von Augit und Hornblende. Makroskopisch erkennbare Einsprenglinge von Serpentin (wohl aus Olivin hervorgegangen) von 2 cm Größe konnte ich feststellen. Mikroskopisch zeigt sich der starke Zersetzungsgrad des Gesteins. Feldspat konnte ich keinen feststellen.

Auffällig ist, daß in etwa 50 m Entfernung davon im Radiolarit Gänge auftreten (Aufschluß 42), die sowohl Augit als auch Hornblende enthalten und die Bezeichnung Ehrwaldit verdienen. Es erscheint mir jedoch unwahrscheinlich (wenn es auch theoretisch denkbar wäre), daß die *Richterschen* Gänge eine dem Ehrwaldit heteromorphe Fazies darstellen. Leider lassen sich über diese Frage vorläufig keine genauen Aussagen machen, da sich in den Gängen am Ladizjöchel nur völlig zersetztes Gestein finden ließ.

7. Ausscheidungsfolge

Erste Ausscheidungsprodukte sind Apatit und Olivin. Während der Apatit sich in sämtlichen anderen Gesteinsgemengteilen außer im Olivin als Einschuß findet, ist der Olivin frei von Einschlüssen. Eventuelle Einsprenglinge von Orthopyroxen dürften dann in der Folge gebildet worden sein. Anschließend kam es zur Bildung der Augiteinsprenglinge. Ebenfalls in diese Phase fällt die Bildung von Titanomagnetit. Damit war die intratellurische Phase beendet. In der Folge kam es zur Bildung der Grundmassebestandteile, zunächst der Augitgrundmassegeneration. Die nächste Phase zeigte günstige Bedingungen für Hornblendebildung. Dies führte soweit, daß Augit zum Teil auf Kosten der sich bildenden Hornblende resorbiert wurde. Dies belegen Hornblendesäume, die besonders Exemplare der Augitgrundmassegeneration umrahmen sowie Hornblenden, in deren Mitte sich ein Augitrestkern befindet. Die letztgenannte Reaktion — Hornblendebildung auf Kosten von Augit — hat an verschiedenen Plätzen in sehr verschieden starkem Maße stattgefunden. Integrationsmessungen der verschiedenen Typen des Gesteins haben ge-

zeigt, daß das Augit-Hornblende-Verhältnis in sehr weiten Grenzen schwankt, während die Summe der beiden Komponenten stets etwa denselben Prozentsatz am Gesamtgestein ausmacht (siehe Tabelle). Gleichzeitig folgert aus diesen Tatsachen, daß bei der Kristallisation der Grundmassebestandteile an den verschiedenen Orten im Magma verschiedener H_2O -Partialdruck geherrscht haben muß, da bekanntlich das Augit-Hornblende-Verhältnis im Magma eine Funktion dieses Druckes ist.

III. Kontakterscheinungen

In fast allen Aufschlüssen ist Primärkontakt mit dem Nebengestein zu erkennen.

1. Kontakt mit dem roten Oberjuraradiolarit

Da in allen im roten Radiolarit liegenden Aufschlüssen die gleichen Erscheinungen auftreten, sei zunächst eine allgemeine Beschreibung gegeben. Ausnahmen werden gesondert behandelt.

Makroskopisch sind folgende Merkmale festzustellen:

Der Hornstein zeigt in unmittelbarer Umgebung der Ehrwalditgänge eine wesentlich dickere Bankung als gewöhnlich. Unmittelbar am Kontakt zeigt der sonst rote Hornstein eine Verfärbung ins grüne. Auch ist er am Kontakt wesentlich spröder als normal.

Der Ehrwaldit läßt makroskopisch keine Veränderungen am Kontakt erkennen.

Unter dem Mikroskop

Während der Hornstein normalerweise im Dünnschliff in einer grauen, nicht näher bestimmbar Grundmasse chalcedongefüllte Radiolarienquerschnitte erkennen läßt, ist er am Kontakt in ein mikrokristallines Gemenge aus Quarz, Chalcedon und Chlorit umgewandelt. Die Radiolarien sind in gleicher Ausbildung auch im Kontaktbereich gut erhalten.

Auch der Ehrwaldit ist am Kontakt verändert. In einer glasigen Grundmasse finden sich Olivineinsprenglinge, die zum größten Teil in ein Gemenge aus Karbonat, Chalcedon, Chlorit und Serpentin umgewandelt sind.

Zwischen Hornstein und Ehrwaldit befindet sich häufig eine Kluft, die außen Chlorit und innen Karbonat führt.

2. Kontakt mit Neocomschichten

In Aufschluß 30 steht der Ehrwaldit im Kontakt mit Neocomkalken. Während makroskopisch an den Neocomschichten keine Veränderungen wahrzunehmen sind, zeigt hier der dunkelgraue

Ehrwaldit am Kontakt ein bis 20 cm breites, hellgraues Salband. In diesem Salband lassen sich einzelne, nadelförmige Querschnitte eines dunklen Minerals erkennen. Sie erreichen 2—3 mm Länge.

Unter dem Mikroskop zeigt sich in einer aus Spreustein und Karbonat bestehenden Grundmasse eine Anreicherung von Magnetit. Die nadelförmigen Querschnitte erwiesen sich als Hornblenden. Vereinzelt finden sich bis $\frac{1}{2}$ mm große, radialfaserige Natrolithe. Eine Bildung von spezifischen Kontaktmineralen scheint nicht stattgefunden zu haben. Die helle Färbung des Salbandes dürfte auf der reichlichen Karbonatführung beruhen.

3. Der Kontakt in Aufschluß 2

In Aufschluß 2 (Hornblende-Ehrwaldit im Lehnbachgraben) zeigt sich ein von den übrigen Vorkommen abweichender Kontakt des Ehrwaldits mit oberjurassischen Hornsteinkalken.

Die Hornsteinkalke sind hellgrau und sehr dicht. Sie sind gut gebankt. Die Bänke haben eine Mächtigkeit von durchschnittlich 20 cm. Die Hornsteinführung wechselt nicht nur von Lage zu Lage, sondern auch innerhalb der gleichen Schicht. Bereiche mit mehr Hornsteinführung unterscheiden sich von solchen mit weniger Hornsteinführung nicht durch ihre Farbe, jedoch durch ihre Härte. Unter dem Mikroskop zeigt das Gestein eine reiche Radiolarienführung. Der Aufschluß wurde bereits im Kapitel „Vorkommen und Verbreitung“ kurz beschrieben. Im Bereiche des Kontaktes Ehrwaldit-Hornsteinkalk zeigen sich folgende, auffällige Erscheinungen:

a) Innerer Kontaktbereich („Kontaktbrezie“).

Bereiche zerbrochenen und vom Ehrwaldit durchdrungenen Sedimentes. In diesen Bereichen finden sich bis 10 cm breite, kreideweiße Bänder kristalliner Natur. Die Bänder enthalten als brekziöse Komponenten Hornstein und Ehrwaldit (Abb. 9).

b) Äußerer Kontaktbereich.

Kleine Gänge von Ehrwaldit, die vom Hauptgang in das Nebengestein abzweigen. Sie folgen mehr oder weniger parallelen Bahnen und zeigen Mächtigkeiten bis zu 1 cm (Abb. 13).

In der Folge wird auf obige Erscheinungen genauer eingegangen. Die Grenze des Ganges sei in der Folge definiert als der Punkt, wo noch keine fremden Komponenten im Ehrwaldit enthalten sind.

Zu a)

Die Einwirkung des Magmas auf den Hornsteinkalk führte in diesem Aufschluß zu einer Durchdringung des Hornsteinkalkes mit Ehrwaldit (Abb. 9). Dabei entstand ein bis zu $\frac{1}{2}$ m breiter Kontaktbereich, der ein Durcheinander von Ehrwaldit und Sedimentbrocken

zeigt. Auffällig sind in diesem Durcheinander kreideweiße Adern und Massen, die den Kontaktbereich durchsetzen. In der Kontaktzone finden sich einerseits mehr oder weniger brekziöse Bereiche, die als eckige Komponenten Hornsteinkalk und Ehrwalditfetzen, als Kittsubstanz die erwähnten, weißen Massen enthalten, anderseits Bereiche, in denen mehr lagenartige Anordnungen von Ehrwaldit, weißen Bändern sowie zerbrochenen Hornsteinkalk vorherrschen.



Abb. 9. Innerer Kontaktbereich, Anschliffbild. Hornsteinkalkbrocken (HK), Apophyllitadern und -massen (Ap), Ehrwalditfetzen (E).

Dort, wo der Ehrwaldit in direkter Berührung mit dem Hornsteinkalk steht, zeigen sich an letzterem vielfach Lösungserscheinungen, der Hornsteinkalk bildet dann eine von rundlichen Aushöhungen bzw. von noch nicht resorbierten, stehengebliebenen Zapfen gebildete Grenze gegen Ehrwaldit. Eine andere Art der Zerstörung des Hornsteinkalkes stellt ein Aufblättern und Zerbrechen dar. Auf diese Weise ist die Bildung der brekziösen Hornsteinkomponenten zu verstehen. Dagegen sind die Ehrwalditfetzen in den weißen Massen weniger leicht zu erklären. Offenbar wurden von noch mobilen hydrothermalen Restlösungen einzelne Bröckchen des bereits erstarrten Ehrwaldites über kurze Distanz verfrachtet. Auf die in der weißen Kontaksubstanz enthaltenen Mineralbildungen soll nun eingegangen werden.

Folgende Kontaktminerale treten in den weißen Adern auf:

Apophyllit,	Zoisit,
Datolith,	Karbonat.

Apophyllit

Infolge ihrer geringen Größe — größere Kristalle erreichen um 2 mm Durchmesser — ist der Apophyllit makroskopisch nicht leicht zu erkennen. Charakteristisch sind Spaltflächen mit perlmutter-

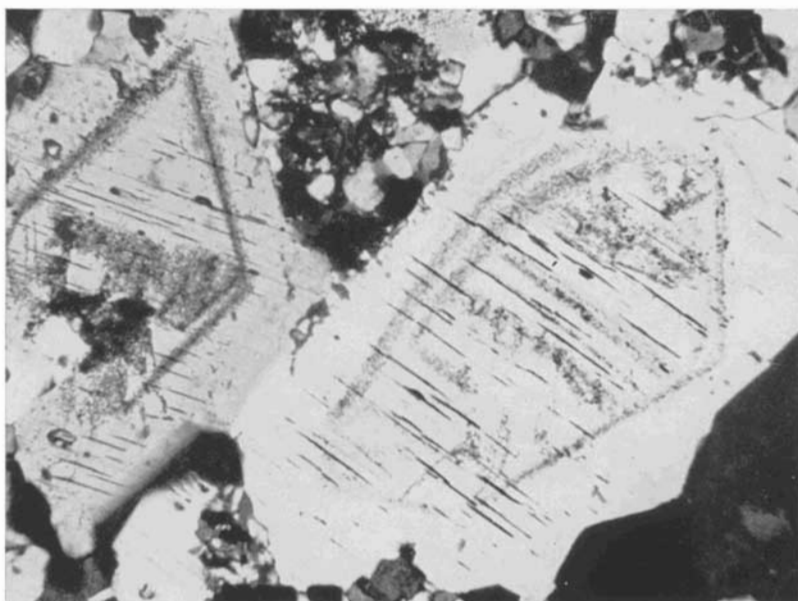


Abb. 10. Innerer Kontaktbereich. Apophyllit mit zonaren Einschlüssen (35 \times , + Nicols).

artigem Glanz. Unter dem Mikroskop sieht man isotrope Basis-schnitte sowie durch die ausgezeichnete Spaltbarkeit nach (001) gekennzeichnete Schnitte \parallel oder \wedge c. Auch die Spaltbarkeit nach (110) ist teilweise gut erkennbar. Die Größe der Querschnitte reicht von etwa 2 mm bis in den submikroskopischen Bereich. Die Doppelbrechung wurde an Spaltblättchen mittels der Immersionsmethode zu 1.535 \parallel c bestimmt. Infolge der außerordentlich niedrigen Lichtbrechung treten bei normaler Schlifffdicke nur Interferenzfarben im Dunkelgrau I auf, die oft einen anomalen bräunlichen Stich zeigen. Der optische Charakter wurde stets als positiv festgestellt. Selten war schwache anomale Zweiachsigkeit zu beobachten, ebenso anomale Felderteilung. Um eine hundertprozentig exakte Bestimmung des Apophyllits zu erhalten, wurde ein Debye-Scherrer-Pulver-

diagramm von isoliertem Material gemacht und mit einem Testdiagramm verglichen. Die Diagramme erwiesen sich als identisch.

Der Apophyllit ist meist frei von Einschlüssen. Bisweilen finden sich in größeren Querschnitten in Randnähe einfache oder mehrfache Säume, die zonar angeordnet sind (Abb. 10). Es handelt sich offenbar um Schmutzsäume (nicht resorbierte Sedimentreste), die aus winzigen Partikelchen bestehen. Ebensolche Säume finden sich in den, den Apophylliten benachbarten Karbonatkristallen, in einer an sich für den Apophyllit charakteristischen Anordnung. Da der Calcit den Apophyllit häufig einschließt, also jünger ist, könnte es sich um eine Pseudomorphosierung des Apophyllits durch Karbonat handeln. Ebensolche Erscheinungen konnte ich an Apophyllitproben aus den Trapp Rocks von Paterson, New Jersey, feststellen.

Datolith?

Wegen der geringen Größe war eine hundertprozentige Bestimmung nicht möglich. Die stets recht kleinen Körner zeigen im allgemeinen unregelmäßige Begrenzungen sowie mehr oder weniger rundliche Querschnitte. Lediglich in Kleinklüften finden sich gestreckte Schnitte bei wandständigen Kristallen, wobei die Längserstreckung senkrecht zur Wand liegt.

Neben Apophyllit und Karbonat ist Datolith Hauptgemengteilmittel der Kontaktneubildungen. Er ist teilweise außerordentlich feinkörnig und findet sich dann in dichten Aggregaten, die bisweilen schichtige Anordnung zeigen. Der Bornachweis wurde geführt.

Zoisit

In wenigen Körnchen und Stengelchen tritt als Kontaktneubildung Zoisit auf. Durch seine charakteristischen Formen und optischen Eigenschaften, hohe Licht- sowie niedrige Doppelbrechung, ist er gut gekennzeichnet. Der Achsenwinkel wurde zu $2V_{\lambda} = 46^{\circ}$ bestimmt. Die AE verläuft parallel zu der sehr guten Spaltbarkeit nach (100). Es handelt sich also um Zoisit α . Der Zoisit ist frei von Einschlüssen. Charakteristisch ist für die an sich farblosen Querschnitte eine leichte Trübung. Durch sein gemeinsames Auftreten mit dem Apophyllit und Datolith ist er als Kontaktprodukt aufzufassen. Die maximale in gestreckten Schnitten beobachtete Länge betrug 2 mm.

Durch die Untersuchungen im Dünnschliff erwies sich eindeutig, daß im Aufschluß 2 Apophyllit sowie in geringerem Maße Datolith? und Zoisit als Kontaktprodukte aus dem Hornsteinkalk entstanden sind.

Die Bildung setzte von s-Flächen des Hornsteinkalkes ein, und zwar einerseits von schon bestehenden Scherflächen, Klüften und Rissen, anderseits von sedimentären s-Flächen aus. So kam es vielfach zu einer lagenweisen Anordnung von Apophyllit, der mehr oder weniger gut mit (001) parallel zu diesen Flächen eingeregelt liegt. Die Anordnung der Lagen läuft ebenfalls parallel zu den er-



Abb. 11. Neubildung von Apophyllit (A) im Hornsteinkalk, in dem noch Radiolarienquerschnitte zu erkennen sind (R) (35 x, 1 Nicol).

wähnten s-Flächen. Die einzelnen Lagen unterscheiden sich durch verschiedene Korngrößen. Innerhalb derselben Lage zeigt sich die Korngröße des Apophyllit relativ konstant. Dagegen ist der Wechsel der Korngröße von Lage zu Lage sehr abrupt und folgt keinen direkt erkennbaren Gesetzen.

Ist die Umwandlung des Sedimentes eine vollkommene, so entstehen parallel laufende Apophyllitlagen, die nur durch einen geringen Karbonatgehalt verunreinigt sind. Ist die Umwandlung unvollkommen, so finden sich zwischen den Apophyllitlagen noch Restlagen von Sediment, deren Gefüge oft noch erhalten ist. Das Sediment besteht aus feinsten Chalcedon-Sphärolithen sowie aus größeren, mit Chalcedon gefüllten Radiolarien. Dazwischen findet sich wenig, sehr feines, pelitisches Material (Schmitzen). Es lassen

sich alle Übergänge von beginnender Apophyllitbildung bis zur vollkommenen Umwandlung des Sedimentes beobachten. Auf den Abb. 11 und 12 ist dieser Vorgang zu erkennen.

Die parallelen Apophyllitlagen sind vielfach von jüngeren, apophyllitführenden Klüftchen und Rissen, die ebenfalls parallel laufende Systeme bilden, durchsetzt. Die // ss laufenden Apophyllit-

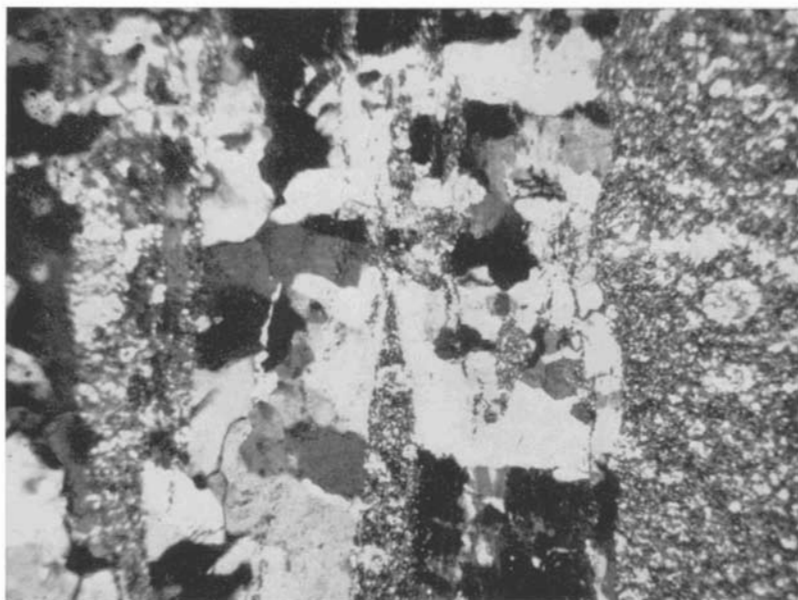


Abb. 12. Wie Abb. 22, Nicols +.

lagen sind nur im Kleinbereich (unter $\frac{1}{2}$ cm) ungestört. Die Größe der in den Klüften gebildeten Apophyllite richtet sich nach der Mächtigkeit der Klüfte (maximal 2 mm). Neben lagenartiger Anordnung gibt es häufig Bereiche, in denen der Apophyllit keine wie oben geschilderte Anordnung zeigt, sondern ein unregelmäßiges Durcheinander von verschiedenen großen Kornquerschnitten bildet. Diese Bereiche enthalten neben Apophyllit große Karbonat- sowie kleinere Datolith- und Zoisitquerschnitte. Dazwischen finden sich die bereits eingangs erwähnten brekziösen Komponenten: Sedimentreste sowie Fetzen von Ehrwaldit. Offenbar kam es in diesen Bereichen zu stärkerer Durchbewegung nach dem Aufdringen des Magmas. In diesen Bereichen finden sich auch die Apophyllite mit Schmutzsäumen wie oben geschildert. Abb. 9 zeigt das Anschliffbild eines derartigen Bereiches. Die weiße Farbe der Bereiche rührt von den

in ihnen enthaltenen Hauptkomponenten, Apophyllit und Karbonat her. Die Anreicherung dieser Komponenten erreicht teilweise einen beachtlich hohen Grad.

Außerordentlich feinkörnige, kreideartige Massen, die bis zu 5 cm mächtige Lagen bilden, ließen sich weder im Dünnschliff noch im Pulverpräparat analysieren. Eine qualitative, chemische Analyse zeigte folgende Bestandteile: Ca, Mg, F, SiO_2 , CO_3 , H_2O^+ . Da kein Aluminium nachzuweisen war, ist anzunehmen, daß es sich bei diesen Massen ebenfalls um ein Gemisch aus Apophyllit und Karbonat handelt. V. d. L. blähen sich die Proben auf und schmelzen dann zu Perlen.

Zu b)

In diesem Bereich ist der Hornstein noch wenig verändert. Auffällig ist jedoch, daß auch hier bereits im Hornsteinkalk eine Umkristallisation stattgefunden hat, bei der Chalcedon gebildet wurde. Die Bildung wurde schon bei den allgemeinen Kontakterscheinungen beschrieben.

Eine interessante Erscheinung bilden die unter 2 erwähnten Gängchen im äußeren Kontaktbereich. Die Gängchen verlaufen \pm parallel zu zwei schief zueinander liegenden Fugen, die offenbar ein, beim Aufdringen des Magmas bereits bestehendes Scherflächensystem darstellen. Die Gängchen heben sich durch ihre dunkle Farbe gut von dem hellgrauen Hornsteinkalk ab. Von den Gängchen reichen beiderseits bis etwa $\frac{1}{2}$ cm zahlreiche, haarfeine Apophysen ins Nebengestein. Die Apophysen stehen senkrecht zur Gangwand und sind an ihrem Ende häufig verdickt. Weiter ist der helle Hornsteinkalk in der Umgebung der Gängchen (bis zu 1 cm Abstand) dunkler gefärbt.

Unter dem Mikroskop

Der Außenrand der Gängchen selbst wird von einem Saum feiner, senkrecht zur Wand stehender Augitnadelchen gebildet. Das Wachstum der Nadelchen ist häufig vom Gang nach außen gegen den Hornsteinkalk erfolgt. Gegen das Innere des Ganges geht dieser Saum in einen wirren Filz immer feiner werdender Augitnadelchen über. Der Filz setzt mit einer scharfen Grenze gegen das Innere des Ganges hin ab. Dieses ist von „Ehrwaldit“ erfüllt. Folgende Minerale finden sich hier (in der Reihenfolge der Häufigkeit): Ti-Augit, Plagioklas, Serpentin, Hornblende (wenig); akzessorisch: Erz, Chlorit, Apatit; Biotit fehlt. Die dunkel gefärbten Bereiche in der Umgebung der Gängchen enthalten massenhaft Augitmikrolithen als Neubildung.

Ti-Augit, Hornblende

Der Titanaugit zeigt dieselbe Ausbildung wie die Grundmassegeneration im Hauptgang und auch dieselben optischen Eigenschaften. Die Querschnitte haben eine Größe von 0.2 mm und weniger. Nur selten zeigen die Augite Verwachsungen mit Hornblende, die nur in sehr kleinen Querschnitten auftritt und relativ selten ist.

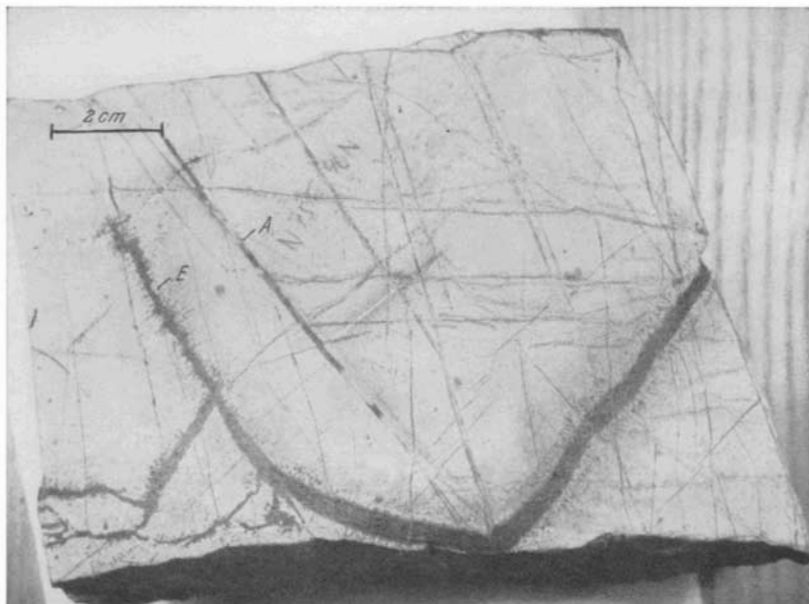


Abb. 13. Äußerer Kontaktbereich, Anschliffbild. Ehrwalditgängen im Hornsteinkalk (E). Apophyllitführende Klüftchen (A).

Plagioklas

Der Plagioklas bildet die Grundmasse in den Gängen und tritt an Stelle der Basis im Hauptgang. Die mehr oder weniger leistenförmigen Querschnitte haben eine Länge von 0.2 mm und weniger. Der Plagioklas ist frisch. Er umschließt alle übrigen Gemengteile, ist also letztes Ausscheidungsprodukt. An allen Querschnitten wurden Zwillingsslamellierungen beobachtet und zwar teils nach dem Albit-, teils nach dem Periklingesetz.

Der Achsenwinkel der Plagioklase liegt um 90° . Die maximale Auslöschungsschiefe in der Zone (001) liegt bei 20° . Die Werte schwankten in einer Reihe von eingemessenen Kristallen nur gering. Es handelt sich demnach um saure Andesine mit einem An-Gehalt um 37%.

Serpentin

Er findet sich in wenigen Querschnitten, die nur etwa 0.1 mm erreichen. Er entspricht optisch dem Serpentin des Hauptganges.

Akzessorien

In nur geringem Maße findet sich Erz und Apatit. Die Querschnitte sind kleiner als im Hauptgang.

Es erscheint wahrscheinlich, daß die Bildung des randlichen Augitmikrolithensaumes unter Resorption von Ca aus dem Karbonat des umgebenden Sedimentes vor sich gegangen ist. Der Saum ähnelt außerordentlich dem unter „zentrische Inhomogenitäten“ beschriebenen Saum der Scheinmandeln, die sich um eingeschlossene Sedimentbröckchen gebildet haben dürften.

Die innerste Ausfüllung der Gängchen entspricht der Grundmasse des Hauptganges. An Stelle der Basis tritt Plagioklas. In besonders schmalen Gängchen findet sich neben dem randlichen Augitsaum nur Plagioklas als Innenausfüllung.

Apophyllitführende Klüfte

Eine Reihe feiner Klüfte laufen dem System der ehrwalditführenden Gängchen parallel. Die Gängchen sind an diesen Klüften teilweise um Millimeterbeträge versetzt. Die Füllung dieser Klüfte besteht hauptsächlich aus Apophyllit und Calcit, in geringem Maße auch aus Datolith.

IV. Chemismus der Ehrwaldite

Die Analysen wurden dank des freundlichen Entgegenkommens des Direktors der Geologischen Bundesanstalt in Wien, Herrn Professor Dr. Küpper, im Chemischen Institut dieser Anstalt durchgeführt.

Um den Zersetzungsgrad des Gesteins zu kontrollieren, wurden von mir in Innsbruck Glühverlustbestimmungen gemacht. Der Zersetzungsgrad der Gänge ist im allgemeinen sehr groß. Die meisten Proben wiesen Glühverluste um 10% und mehr auf. Als in zwei Aufschlüssen in Ehrwald Material mit Glühverlusten um 4% und weniger gesammelt werden konnte, wurde dieses zur Analysierung ausgewählt. In Gängen in der Umgebung des Steinernen Hüttls konnte Material mit etwa 5% Glühverlust gesammelt werden, das in Ermangelung frischerer Proben ebenfalls zur Analysierung gelangte.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Analysierungsergebnisse. Nr. 1 und 2 stammen aus dem Bereich des Lehnbachgrabens

in Ehrwald. Nr. 1 ist die hornblendereiche Varietät (Typ II) aus dem Aufschluß Nr. 2 der Karte. Nr. 2 ist die hornblendearme Varietät (Typ I) und stammt von Pichlers Fundplatz. Die Analysen 3 und 4 stammen von Proben aus den Aufschlüssen 16 und 13 nördlich des Steinernen Hüttls.

Tabelle 1

Aufschluß	2	1	16	13	
	1	2	3	4	5
SiO ₂	40·12	38·58	39·42	38·74	39·35
SiO ₂	2·78	3·03	3·10	2·10	2·90
Al ₂ O ₃	12·40	12·06	13·99	14·52	12·23
Fe ₂ O ₃	4·05	5·05	4·97	5·09	4·55
FeO	6·75	6·21	6·18	6·85	6·48
MnO	0·12	0·07	0·07	0·12	0·10
CaO	12·71	12·59	10·43	10·70	12·65
MgO	12·48	12·68	9·61	11·23	12·58
K ₂ O	1·00	0·99	1·32	0·82	1·00
Na ₂ O	2·27	2·30	3·31	2·38	2·30
H ₂ O —	1·29	1·37	1·51	1·52	1·33
H ₂ O +	3·40	4·41	4·77	5·19	3·90
CO ₂	0·21	0·15	0·76	0·29	0·18
P ₂ O ₅	0·72	0·67	0·68	0·79	0·70
S (gesamt)	0·13	0·18	0·14	0·12	0·15
BaO	0·06	0·07	0·09	0·05	0·07
Cr ₂ O ₃	0·04	0·05	0·04	0·04	0·04
V ₂ O ₃	0·02	0·03	0·02	0·025	0·025
ZrO ₂	Spur	0·01	nicht nachweis- bar	0·01	0·01
U	unter 0·01	nicht nachweis- bar	nicht nachweis- bar	nicht nachweis- bar	—
Cl	0·03	0·03	0·01	0·03	0·03
— O für Cl	100·58 0·01	100·53 0·01	100·42 —	100·61 0·01	100·54 0·01
Spez.-Gewicht	100·57 2·69	100·52 2·69	100·42 2·86	100·60 2·87	100·53 2·96

Tab. 1 zeigt unter Nr. 1 bis Nr. 4 die Analysenergebnisse, unter Nr. 5 das Mittel der Analysen 1 und 2, das hier hauptsächlich zur Betrachtung kommen soll.

Tab. 2 zeigt am Beispiel des Mittels der Analysen 1 und 2 die Verrechnung des Ehrwaldites nach *Niggli*. Daneben sind auch die Verrechnungswerte nach *Köhler-Raaz* aufgezeichnet.

Tab. 2. Verrechnung des Mittels der Analysen 1 und 2 (siehe Nr. 5, Tab. 1)

	Prozent	Mol.-Zahl	At.-Zahl	Kat.-%
SiO ₂	39·35	6552	6552	38·0
Al ₂ O ₃	12·23	1200	2400	13·9
TiO ₂	2·90	363	363	2·1
Fe ₂ O ₃	4·55	285	570	3·4
FeO	6·48	902	902	5·3
Cr ₂ O ₃	0·04	3	6	—
V ₂ O ₃	0·02	1	2	— bei FeO
MnO	0·10	14	14	—
MgO	12·58	3120	3120	18·1
CaO	12·65	2256	2256	13·1
BaO	0·07	5	5	— bei CaO
Na ₂ O	2·30	371	742	4·3
K ₂ O	1·00	106	212	1·3
P ₂ O ₅	0·70	49	98	0·6
S	0·15	47	—	—
Cl	0·03	9	—	—
H ₂ O —	1·33	—	—	—
H ₂ O +	3·90	2165	—	—
CO ₂	0·18	150	—	—
	100·52	—	17242	100·1

Niggli-Werte

si	77	al	14	k	0·22
ti	4·3	fm	54	mg	0·68
p	0·6	c	26·5	alk	0·65
h	25	alk	5·5	al-alk	
			100·0	si'	122
s	0·6	ξ	19·5	qz	—43
cl	0·1	η	40·5	w	0·39
		ζ	32·0	t	—18

Köhler-Raaß-Werte

$$qz = -33,5 \quad F = 14 \quad fm = 52,5$$

Bei einer Diskussion der Analysenwerte der Ehrwaldite erhebt sich die Frage, inwieweit die chemische Zusammensetzung des Gesteins der ursprünglichen Zusammensetzung des Magmas entspricht, aus dem Ehrwaldite hervorgegangen sind. Dabei denke ich nicht an Differentiationsvorgänge, als vielmehr an eine Entartung des Magmas während des Aufdringens infolge Reaktion mit den, von den Gängen durchbrochenen Gesteinen. Dabei ist besonders an einen

Verlust des Magmas an SiO_2 zu denken. Beim Durchdringen eines mächtigen Sedimentpaketes, was für die Ehrwaldite angenommen werden darf, können erhebliche Mengen an SiO_2 , das dann CO_2 in karbonatreichen Schichten ersetzt, verloren gehen. Außerdem kann die Zusammensetzung des Magmas durch Aufnahme von Ca und Al verändert worden sein. Dieser Vorbehalt sei für die folgenden Ausführungen und Vergleiche sowie für die Betrachtungen des Chemismus der Ehrwaldite gemacht.

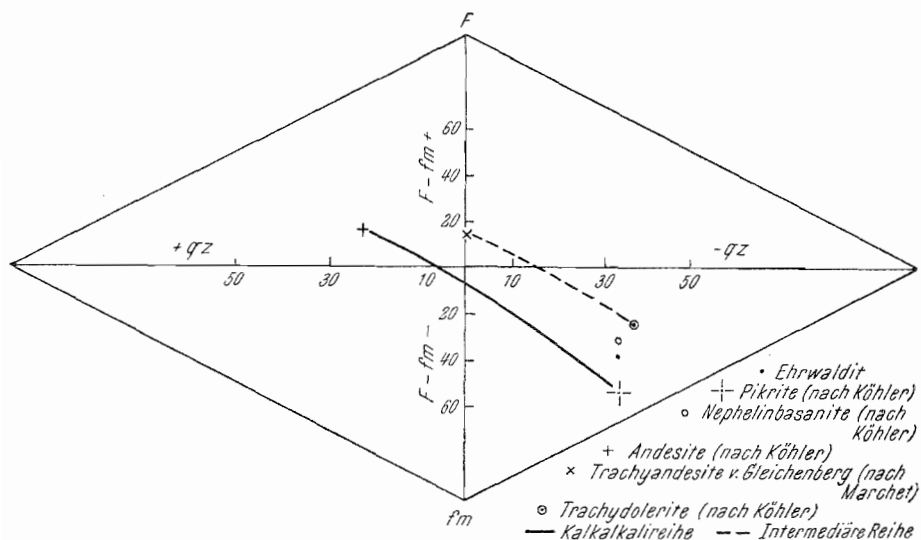


Abb. 14. Projektion nach Köhler-Raaz.

Ein Vergleich der Magmentypen *Niggli* mit den, für den Ehrwaldit gewonnenen Werten ergibt folgendes Bild:

Der Ehrwaldit ist femisch, basisch, c-normal bis c-reich sowie relativ alkaliarm. Hier ein Vergleich mit verschiedenen, ähnlichen Typen *Niggli*:

	si	al	fm	c	alk	k	mg	
1.	77	14	54	26.5	5.5	.22	.68	Ehrwaldit
2.	80	15	60	20	5	.25	.65	hornblenditisch
3.	75	13	52	27	8	.25	.60	ankaratritisch
4.	75	17	49	28	6	.3	.60	alk-issitisch

Der Ehrwaldit ist als hornblenditisch/ankaratritisch zu bezeichnen.

Die Projektionswerte nach *Köhler-Raaz* wurden für den Ehrwaldit errechnet, da sich diese Methode besonders gut für die Trennung von Gesteinen verschiedenen Alkaligehaltes (atlantisch-pazifisch) im basischen Feld des Tetraeders eignet.

Der Ehrwaldit weicht von der normal-pazifischen Reihe bereits etwas gegen die alkalireichere Seite ab. Dies kommt besonders in Analyse 3 zum Ausdruck.

Die Verrechnung des Ehrwaldit-Analysenmittels nach *Burri-Niggli* (7) ergab folgende Werte:

Basis:

Cp	Ru	Kp	Ne	Cal	Cs	Fs	Fa	Fo	Q
1.4	2.4	3.8	12.9	12.5	12.1	5.0	8.0	27.7	14.4

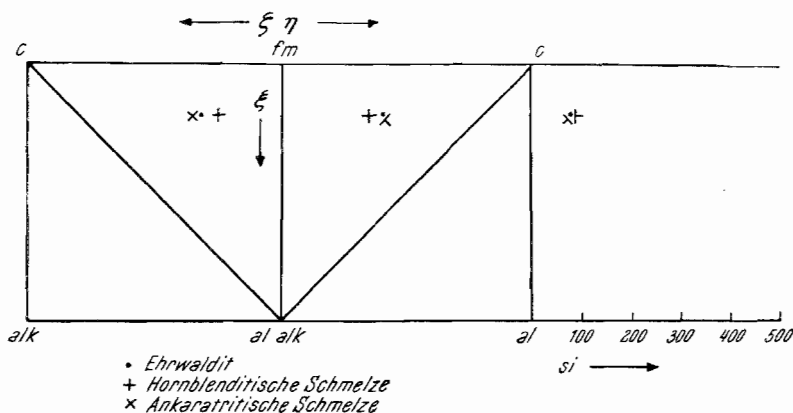


Abb. 15. Konzentrationstetraederprojektion nach Niggli-Becke.

Standard-Katanorm:

Mt	An	Or	Ab	Ne	Cs	Fa	Fo	Ru	Cp
5.0	20.9	6.4	15.2	3.8	12.1	5.4	27.7	2.1	1.4
<u>42.5 Feldspat</u>						<u>33.1 Olivin</u>			
5.0 Magnetit								<u>1.4 Apatit</u>	

Aus der Norm ergeben sich folgende Werte:

Q = 14.4	K = 13.	Mg = 52.5	k' = 0.23
L = 29.2	Na = 44.	Fe = 24.5	π = 0.43
M = 56.6	Ca = 43.	Ca = 23.0	γ = 0.23
100.2	100.0	100.0	mg' = 0.68
			μ = 0.53

Um den normativen Mineralbestand der Glasbasis des Ehrwaldites zu erfassen, gelangen in der Folge die beiden Ehrwaldittypen zur Verrechnung (Typ I = Ehrwaldit, Typ II = Hornblendeehrwaldit). Aus den Kationenprozenten der Analysen wird für beide Typen die jeweilige Norm berechnet, wobei Augit und Hornblende entspre-

chend ihren Mengenanteilen eingesetzt werden. Als Grundlage für den Chemismus des Ti-Augit und des Syntagmatit dienten die Analysenangaben in *Tröger* (1935) (31).

Für Typ I wurden von den Kationenprozenten der Analyse 2
 38% Titanaugit
 sowie 7% Syntagmatit
 abgezogen.

Für Typ II wurden von den Kationenprozenten der Analyse 1
 26% Titanaugit
 sowie 26% Syntagmatit
 abgezogen.

Es ergaben sich folgende Standard-Katanormen der Reste:

	Cp	Ru	Or	Ab	An	Cs	Mt	Fo	Fa	Q
Typ I	1.5	1.7	5.5	10.0	17.7	1.8	2.0	17.7	3.4	—6.3
Typ II	1.5	0.9	3.0	7.0	16.5	1.8	1.2	15.0	3.0	—2.0

Zur Behebung des Quarzmankos wurde Or desilifiziert und Bi gebildet:

$$\text{Typ I} \quad 5.5 \text{ Or} + 5.0 (\text{Fo} + \text{Fa}) = 8.7 \text{ Bi} + 1.8 \text{ Q}$$

$$\text{Typ II} \quad 3.0 \text{ Or} + 2.7 (\text{Fo} + \text{Fa}) = 4.8 \text{ Bi} + 0.9 \text{ Q}$$

Das restliche Quarzmanko wurde durch Desilifizierung von Ab vermindert bzw. behoben.

$$\text{Typ I} \quad 10.0 \text{ Ab} = 6 \text{ Ne} + 4 \text{ Q}$$

$$\text{Typ II} \quad 3.0 \text{ Ab} = 1.8 \text{ Ne} + 1.2 \text{ Q}$$

Als Normen der Typen I und II ergeben sich:

	Cp	Ru	Ab	An	Ne	Cs	Ti-Aug	Ho	Bi	Mt	Fo	Fa	Q
Typ I	1.5	1.7	—	17.7	6.0	1.8	38.0	7.0	8.7	2.0	15.2	0.9	—0.5
Typ II	1.5	0.9	4.0	15.5	1.8	1.8	26.0	26.0	4.8	1.2	14.7	1.7	—

In beiden Fällen tritt ein normativer Feldspatmolekülanteil von zirka 18% auf, der in der Basis stecken dürfte. Der normative Foidanteil ist gering.

Die beiden Typen sind ein gutes Beispiel heteromorpher Ausbildung ein und desselben Magmas.

Der normative Feldspatmolekülanteil von 42.5% der Standard-Katanorm steckt also zur Hälfte in den dunklen Gemengteilen, zur Hälfte in der kryptokristallinen Basis des Gesteins.

V. Die geologische Stellung der Ehrwaldite

Pichler (19—24) erwähnt den Kontakt mit Jura und vermutet auch jurassisches Alter.

Cathrein vermutet tertiäres Alter (8).

Auch *Reis* hält die Gänge für jünger als Jura und vermutet, daß zur Zeit der Intrusion bereits eine gewisse Verstellung der Schichten stattgefunden hat (25).

H. P. Cornelius sieht im Ehrwaldit einen Beweis für das Wiederaufleben der magmatischen Tätigkeit in der alpidischen Geosynklinale im Jura (9, 10).

Mutschlechner vertritt die Ansicht, das Aufdringen der Gänge stehe in Zusammenhang mit der alpinen Gebirgsbildung (17).

Durch neue Aufschlüsse in Neocomschichten des Wettersteingebirges (*Zitzelberger*) wird das Alter der Gänge weiter eingeengt (34).

Folgende geologisch wichtige Merkmale seien im Zusammenhang mit den Ehrwalditen nochmals festgehalten:

1. Ehrwalditvorkommen finden sich im Wettersteingebirge in den Fleckenmergeln, im Oberjuraradiolarit und in den Neocomschichten; im Karwendelgebirge in den Kössner Schichten, Fleckenmergeln und im Oberjuraradiolarit. Die Gänge halten sich in auffälliger Weise an dieselbe tektonische Zone, die sogenannte „Puitentalzone“, die durch E—W laufende Störungslinien charakterisiert ist.

2. Die Lagerung der Gänge ist im allgemeinen parallel der Schichtung des Nebengesteins. Nur selten findet sich diskordante Lagerung.

3. Der Ehrwaldit zeigt stets Primärkontakt mit dem Nachbargestein. Auf die verschiedenen Kontakterscheinungen wurde hingewiesen.

4. Zur Kontrolle der Lagerung des Ehrwaldites wurden im Aufschluß 3 statistische Flächenmessungen im Nachbargestein sowie im Ehrwaldit durchgeführt. Die Diagramme zeigen gute Übereinstimmung sowohl hinsichtlich eines gemeinsamen Scherklufsystems als auch hinsichtlich eines im Ehrwaldit parallel ss des Nebengesteins vorhandenen s.

5. Im Aufschluß 2 wurden kleine, vom Hauptgang in das Nebengestein reichende Gängchen beobachtet, die einem Kluftsystem parallel laufen und offenbar einem zur Zeit der Intrusion bereits angelegtem Fugensystem folgten.

Auf Grund der bekannten Aufschlüsse ergibt sich, daß die Ehrwaldite jedenfalls jünger als Neocom sind. Die nur selten diskordant zur Schichtung des Sedimentes, im allgemeinen aber parallel ss ausgebildete Lagerung spricht dafür, daß die Schichten zur Zeit des

Aufdringens der Ehrwaldite in ihrem Verband noch nicht wesentlich gestört waren. Andererseits deutet die Verbreitung der Vorkommen, die sich auffällig an die sogenannte Puitentalzone halten, doch daraufhin, daß bereits tiefgreifende Störungen zur Zeit der Intrusion angelegt waren, die dem Magma als Wege dienen konnten. Die bereits von *Reis* im Wettersteingebirge für diese Zone kartierten steilstehenden E—W-Störungslinien kommen hiefür in Frage. Die Puitentalzone ist ein jungschichtenführender Bereich, der sich mit etwa E—W-Streichen von Ehrwald über das Gaistal nach Osten bis in das östliche Karwendel fortsetzt. Auf die verschiedenen tektonischen Deutungen dieser Zone, die auch in neuerer Zeit zu erheblichen Diskussionen führte, soll hier nicht eingegangen werden.

Da, wie die gemessenen Diagramme und auch die Geländebeobachtungen zeigen, die Ehrwaldite jedenfalls die jüngeren tektonischen Beanspruchungen des Nebengesteins mitgemacht haben, läßt sich das Alter der Gänge nicht weiter einengen, da wir nicht genau wissen, zu welcher Zeit die tektonischen Bewegungen stattgefunden haben.

Es ist zu vermuten, daß die Ehrwaldite während der Gebirgsbildung aufdrangen. Synorogener Magmatismus ist in den Nördlichen Kalkalpen wohl durch den starken Zusammenschub und die Deckenbelastung nicht zur Wirkung gekommen. Es stieg daher nur in geringem Maße Magma auf, man könnte aber den Ehrwaldit als Beweis dafür heranziehen, daß Magma aktiviert wurde. Der Magmaaufstieg geschah in einer offenbar tektonisch geeigneten Zone.

Zusammenfassung

Der Ehrwaldit ist ein lamprophyrisches Ganggestein, das im Rhaet, Jura und Neocom der sogenannten Puitentalzone des Wetterstein- und Karwendelgebirges auftritt. Das früher nur von wenigen Fundpunkten bekannte Gestein wurde neuerdings in einer größeren Anzahl von Aufschlüssen (zirka 50) festgestellt.

Folgende Mineralkomponenten sind im Ehrwaldit enthalten:

Einsprenglinge: Ti-Augit, Olivin (serp.). Grundmasse: Ti-Augit, Syntagmatit, Biotit. Das Gestein enthält zirka 30% Glas, das in seiner Zusammensetzung einem basischen Plagioklas (an 80) entspricht. Akzessorien: Titanomagnetit, Apatit, Zeolithe. Neben augitreichen, hornblendearmen, treten hornblendereichere, augitärme Varietäten auf. Das von *Pichler* entdeckte und Ehrwaldit benannte Gestein ist augitreich, die hornblendereichen Abarten sind daher als Hornblende-Ehrwaldit zu bezeichnen. Der Ehrwaldit kann als

Monchiquit aufgefaßt werden, zeigt aber auch Ähnlichkeiten mit Limburgiten.

Kontakterscheinungen wurden in den meisten Aufschlüssen beobachtet. In einem Aufschluß kam es zu erheblichen Umwandlungen der Hornsteinkalke unter Neubildung von Apophyllit, Datolith, Zoisit und Pyroxen.

Die Varietäten des Ehrwaldites zeigen chemisch keine wesentlichen Unterschiede. Magmenttyp nach *Niggli*: hornblenditisch/anakaratritisch, Gesteinscharakter pazifisch bis intermediär. Das Gestein entstammt einem „entarteten Magma“.

Das Auftreten der Gänge hält sich in auffälliger Weise an die sogenannte Puitentalzone im Wetterstein- und Karwendelgebirge. Die Gänge lagern meist konkordant und durchbrechen nur selten diskordant das Schichtstreichen des Nebengesteins. Die Gänge haben auch zweifellos noch alpine Tektonik erlitten. Das Magma dürfte zu einer Zeit aufgedrungen sein, zu der der Schichtverband noch nicht wesentlich rupturrell-tektonisch gestört war.

Vergleich mit anderen Gesteinen

Dem Ehrwaldit gleiche Gänge sind von anderen Stellen der Nördlichen Kalkalpen bisher nicht bekanntgeworden. Die Lecher Eruptivmasse ist ein ladinischer Melaphyr (Andesit), ähnlich denen der Südalpen.

Die von *Reiser* aus dem Flysch bei *Hindelang* beschriebenen Gänge könnten etwa gleiches Alter wie der Ehrwaldit haben. Petrographisch bestehen jedoch wesentliche Unterschiede (27).

Gewisse Ähnlichkeit in Ausbildung und Chemismus zeigt der Rizzonit in Predazzo-Monzoni, der nach *Vardabasso* als basisches Endglied der Camptonit-Monchiquitgänge dieser Gegend aufgefaßt werden kann. Die Rizzonitanalyse nach *Vardabasso* (33) stimmt sehr genau mit denen des Ehrwaldit überein. Beide Gesteine sind somit zumindest heteromorph, wahrscheinlich identisch. Genaueres bleibe einer späteren Studie vorbehalten. Das Alter des Rizzonits ist leider nicht genauer bekannt.

Das Ganggefüge der periadriatischen Intrusiva: Töllite, Vintlite, Ortlerite, Suldenite usw. könnte altersmäßig dem Ehrwaldit entsprechen. Petrographisch ergeben sich wesentliche Unterschiede (13, 18, 31). Der Ehrwaldit drang aber wohl ebenfalls im Zusammenhang mit der alpinen Gebirgsbildung in einer offenbar tektonisch geeigneten Zone auf. Für diesen nur spärlichen „? synorogenen“ Vulkanismus in den Nördlichen Kalkalpen kann man die starke Deckenbelastung verantwortlich machen.

Literatur

1. *Ampferer, O.*, Beschreibung des Seefelder-, Mieminger- und südlichen Wettersteingebirges, Jb. K. K. Reichsanstalt, Bd. 55, Wien 1905, S. 549, 555. —
2. *Ampferer, O.*, Gedanken über die Tektonik des Wettersteingebirges. Verh. K. K. Reichsanstalt, Wien, 1902, S. 198. — 3. *Ampferer, O.*, Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte der Republik Österreich. Blatt Zirl-Nassereith, Wien, 1924, S. 33—35, 58, 62. — 4. *Ampferer, O.*, Über den Südrand der Lechtaler Alpen zw. Arlberg und Ötztal. Jb. d. geol. Bundesanstalt, Bd. 80, Wien, 1930, S. 438. — 5. *Ampferer, O.*, Erläuterungen zur geol. Karte der Lechtaler Alpen. Wien, 1932, S. 47, 110—112. — 6. *Bögel, H.*, Geologische Karte zwischen Puitental und Buchener Sattel. Unveröffentlicht. Institut für techn. Geologie der T. H. München. 1958. — 7. *Burri, C.*, Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. Birkhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart, 1959. Mineralogisch-geotechnische Reihe VII. — 8. *Cathrein, A.*, Über den Augitporphyr von Ehrwald. Verh. d. K. K. Reichsanstalt, Wien, 1890, S. 1—9. — 9. *Cornelius, H. P.*, Zur magmatischen Tätigkeit in der alpidischen Geosynklinale. Berichte der Reichsanstalt für Bodenforschung. Wien, 1941. — 10. *Cornelius, H. P.*, Die Herkunft der Magmen usf. Sitzungsbericht der österr. Akademie der Wissenschaften. Bd. 158, Wien, 1949, S. 543 ff. — 11. *Freund, H.*, Handbuch der Mikroskopie in der Technik. Bd. 4, Teil 1 (Mikroskopie der Gesteine), Umschau-Verlag, Frankfurt a. M., 1955. — 12. *Hammer, W.*, Petrographische Beschreibung des Eruptivgesteins aus der Gegend von Lech. Jb. d. geol. Bundesanstalt, Bd. 80, 1930, S. 140—144. — 13. *Kleblsberg, R. v.*, Geologie von Tirol. 1935. — 14. *Köhler, A.*, und *F. Raaz*, Über eine neue Berechnung und graphische Darstellung von Gesteinsanalysen. Neues Jb. Mineralogie, München, 1951, S. 247—263. — 15. *Lasaulx*, Elemente der Petrographie, Bonn, 1875, S. 297. — 16. *Leitmeier*, Einführung in die Gesteinskunde, Springer-Verlag, Wien, 1950, S. 66. — 17. *Mutschlechner, G.*, Die Massengesteine der Nordtiroler und Vorarlberger Kalkalpen. Tscherm. min. petr. Mitt. Bd. 4, 1954, S. 385—395. — 18. *Niggli, P.*, Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens. Bd. I, Kommissionsverlag Guggenbühl und Huber, Schweizer Spiegel-Verlag, Zürich, 1945. — 18 a. *Niggli, P.*, Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens. Bd. II, Kommissionsverlag Guggenbühl und Huber, Schweizer Spiegel-Verlag, Zürich, 1949. — 19. *Pichler, A.*, Jb. d. K. K. Reichsanstalt, Bd. 16, Wien, 1866, S. 503—504. — 20. *Pichler, A.*, Zeitschrift des Ferdinandeums, 3. Folge, Heft 13, Innsbruck, 1867, S. 178. — 21. *Pichler, A.*, Neues Jb. f. Mineralogie, Geologie und Paläontologie. Stuttgart, 1875, S. 927. — 22. *Pichler, A.*, Neues Jb. f. Mineralogie, Geologie und Paläontologie. Stuttgart, 1876, S. 920. — 23. *Pichler, A.*, Kreuz und Quer. Leipzig, 1896, S. 132. — 24. *Pichler, A.*, Aus Tagebüchern. München und Leipzig, 1896, S. 87. — 25. *Reis*, Erläuterungen zur geologischen Karte des Wettersteingebirges. Geologisches Jahreshefte, 23. Jg., 1910. München, 1911, S. 81—83. — 26. *Richter, M.*, Ein neues Vorkommen von Diabasen im Karwendel. Verhandlungen der geol. Bundesanstalt. Wien, 1928, S. 117—120. — 27. *Reiser*, Über die Eruptivgesteine des Allgäu. Alfred Hölder, Wien, 1889. — 28. *Rosenbusch, H.*, Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine. 1877, S. 484. — 29. *Rosenbusch, H.*, Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine. 4. Aufl., 1907, S. 701. — 31. *Tröger, E.*, Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Berlin, 1935. — 32. *Tschermak*, Die Porphyrgesteine Österreichs aus der mittleren, geologischen Epoche. Wien, 1869, S. 172. — 33. *Vardabasso, S.*, siehe Nr. 13 (Kleblsberg). — 34. *Zitzelberger, L.*, Geologische Karte der Jungschichtenzone zwischen Gatterl und Roßberg (Wetterstein). Unveröffentlicht. Institut für techn. Geologie der T. H. München, 1959. — *Schuster, M.*, siehe *Reis*.