

Mitt. österr. geol. Ges.	71/72 1978/1979	S. 129—137 2 Abb., 3 Tab.	Wien, Juni 1980
--------------------------	--------------------	------------------------------	-----------------

Beiträge zur Metamorphose von Metavulkaniten im Pennin des Engadiner Fensters

Von W. LEIMSER und F. PURTSCHELLER *

Mit 2 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Metavulkanite mit einem Trend zu Alkalibasalten werden aus den Bündnerschiefern des nordöstlichen Engadiner Fensters beschrieben. An metamorph neugebildeten Mineralen konnten häufig Pumpellyit, an drei Lokalitäten Lawsonit, weiters Stilpnomelan und Alkali amphibol (ein Vorkommen) festgestellt werden. Eine Zunahme der Metamorphose vom Rand zum Zentrum (Grünschieferfazies) des Fensters ist deutlich erkennbar. Die höchsten Metamorphosebedingungen waren bei 350° C und 4–5 kb gelegen.

Summary

Metavolcanics of alkalibasaltic character are described from the Bündner schist of the northeastern part of the Engadin window. The following metamorphic minerals could be observed: often pumpellyite, lawsonite (three localities), stilpnomelane and glaucophane (one locality). A prograde metamorphic zonation from the outer parts to the central part (greenschist facies) of the window is clearly discernible. The metamorphic conditions reached 350° C and 4–5 kb.

Inhalt

1. Einleitung	129
2. Gesteinschemismen	130
3. Mineralchemismen	130
4. Schema der Metamorphose	132
5. P-T-Bedingungen	135
6. Literatur	136

1. Einleitung

Die Gesteine des Unterengadiner Fensters umfassen die tektonischen Stockwerke des Penninikums und des Unterostalpins. Es sind karbonatisch bis sandige und

* Adresse der Verfasser: Institut für Mineralogie und Petrographie,
Universität Innsbruck, Universitätsstraße 4, A-6020 Innsbruck.

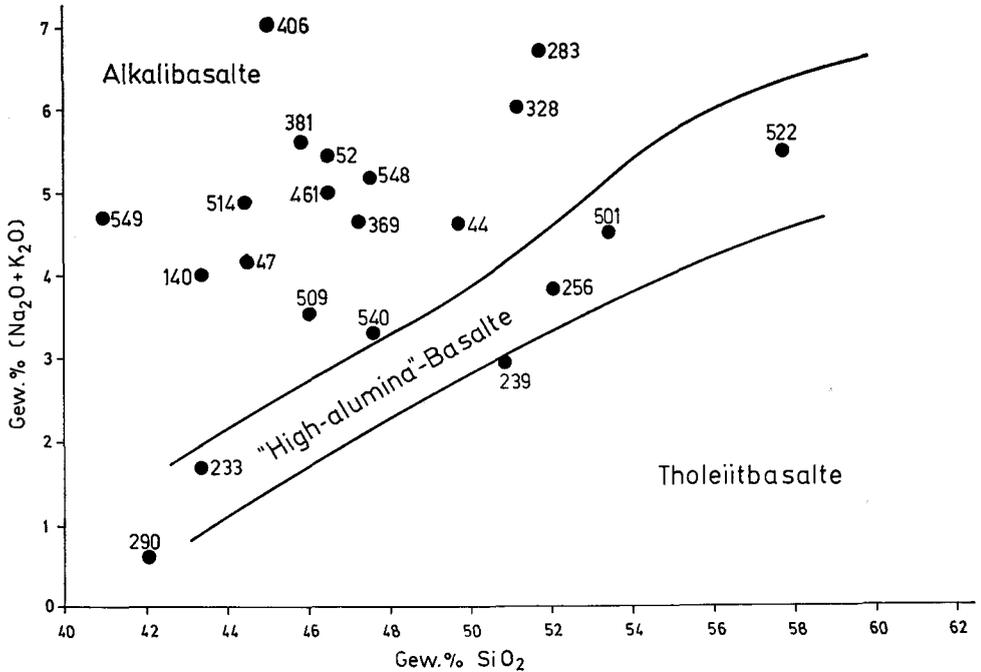


Abb. 1: Basalteinordnung nach KUNO (1960, 1966)

pelitische Sedimente der penninischen Bündnerschiefer und der unterostalpinen Tasna-Decke (bzw. Prutzer Serie; CADISCH 1932, 1948; MEDWENITSCH 1962). In den penninischen Sedimenten liegen zahlreiche konkordante Körper basischer Effusiva von 1 m bis einige 10er m Mächtigkeit.

In den bisherigen Arbeiten (BEARTH 1967; ERNST 1973; OBERHÄNSLI & DIETRICH 1975 u. a.) wurde die Metamorphose der Bündnerschiefer als sehr schwach bezeichnet und etwa im Bereich der beginnenden Grünschieferfazies angenommen. Im Zuge der Dissertation von W. LEIMSER konnten einige neue Minerale nachgewiesen werden.

Im folgenden sollen die wichtigsten Ergebnisse einer petrographischen Untersuchung an diesen Metabasiten mitgeteilt werden:

2. Gesteinschemismen

Die Vulkanite zeigen sehr verschiedene Zusammensetzungen (Tab. 1). Auffallend ist besonders die Variabilität im CaO-Gehalt von 1–40%, was auf eine wechselnde Beteiligung von Sediment, das heißt auf Übergänge zu tuffitischen Metadiabasen, zurückzuführen ist. Eine nähere Diskussion der Gesteinschemismen erscheint daher wenig aussichtsreich, zumal zusätzlich mit diagenetischen und metamorphen Stoffwanderungen zu rechnen sein wird. In diesem Sinne ist die Einordnung in die Alkalibasalte nach KUNO (Abb. 1) lediglich als grobe Abschätzung anzusehen.

	283	114	509	514	328	140	540	548	522
	Chl-Ab- Schiefer	Kk-sil- fels	Metahyalo- klastit	Hyaloklas- tit s.str?	Chl-Ab- Schiefer	Metahyalo- klastit	Metahyalo- klastit	Metadia- bas	Chl-Alb- Schiefer
SiO ₂	51,8	30,2	46,1	44,5	51,2	43,4	47,6	47,6	57,8
TiO ₂	1,65	0,31	1,76	1,59	1,59	1,45	1,25	0,02	2,72
Al ₂ O ₃	18,4	14,9	18,6	14,5	16,2	18,4	18,2	20,8	16,23
x FeO	10,66	1,94	0,34	1,3	6,89	8,06	8,5	1,77	3,04
MnO	0,05	0,24	0,28	0,23	0,14	0,2	0,19	0,06	0,14
MgO	4,77	0,72	2,2	5,42	6,47	6,4	7,53	1,24	4,06
CaO	4,17	29,7	18,1	13,6	6,36	10,8	10,8	16,34	5,31
K ₂ O	0,07	0,14	0,25	0,16	0,06	1,03	0,06	1,76	0,08
Na ₂ O	6,67	0,91	3,3	4,72	6,0	2,96	3,24	3,45	5,41
P ₂ O ₅	0,21	0,03	-	0,1	0,21	0,14	0,1	0,04	0,07
Glühverlust	2,75	21,24	10,03	12,51	7,18	4,45	4,65	9,11	5,06
	101,2	100,33	100,47	98,8	102,3	97,29	102,12	102,19	100,02

x FeO: Gesamteisen als FeO

	549	290	256	381	369	233	239	243	501
	Meta- diabas	Meta- diabas	Metapillow	Metahyalo- klastit	Meta- diabas	Meta- diabas	Meta- diabas	Meta- tuffit	Metahyalo- klastit
SiO ₂	41,0	42,1	52,1	45,9	47,3	43,4	50,9	31,7	53,5
TiO ₂	0,07	1,06	1,47	0,77	1,6	2,38	1,05	0,02	1,48
Al ₂ O ₃	18,56	17,85	11,45	19,0	18,4	17,0	15,45	9,6	17,3
x FeO	1,92	6,78	7,73	5,93	9,4	11,4	7,6	4,36	1,3
MnO	0,04	0,1	0,17	0,09	0,13	0,22	0,19	0,05	0,27
MgO	0,64	2,71	4,43	3,9	4,56	8,27	4,1	0,59	7,9
CaO	20,7	21,8	12,4	12,1	9,65	12,85	12,2	32,9	7,13
K ₂ O	0,61	0,33	0,07	1,24	0,11	0,06	0,2	0,68	0,19
Na ₂ O	4,08	0,26	3,75	4,4	4,52	1,65	2,74	0,89	4,32
P ₂ O ₅	0,99	0,15	0,2	0,07	0,25	0,24	0,13	0,04	0,06
Glühverlust	11,02	7,44	6,91	8,32	4,95	3,04	6,83	20,32	6,12
	99,63	100,58	100,68	101,72	100,87	100,51	101,39	101,15	99,57

x FeO: Gesamteisen als FeO

	474	483	406	407	44	47	52	161	494
	Meta- tuffit	Meta- tuffit	variolit. Metadiabas	variolit. Metadiabas	Meta- diabas	Metahyalo- klastit s.l.	Meta- diabas	Meta- diabas	Meta- tuffit
SiO ₂	26,5	47,1	45,1	38,4	49,8	44,5	46,5	46,55	30,3
TiO ₂	0,46	0,38	2,98	1,73	1,53	1,36	1,06	0,87	0,64
Al ₂ O ₃	6,53	11,48	18,3	14,2	16,6	16,3	19,3	15,4	7,44
x FeO	6,4	6,69	16,9	7,24	9,03	8,11	6,52	6,24	3,95
MnO	0,12	0,1	0,06	0,24	0,19	0,22	0,11	0,14	0,16
MgO	2,33	0,98	5,3	3,81	7,63	6,18	7,51	4,75	1,92
CaO	34,8	21,88	1,27	18,2	7,88	11,99	10,2	13,7	32,4
K ₂ O	0,08	0,24	1,3	0,75	0,18	0,11	1,84	0,08	0,12
Na ₂ O	0,47	0,71	5,75	5,2	4,45	4,06	3,59	4,93	0,98
P ₂ O ₅	0,08	0,03	0,71	0,8	0,18	0,14	0,09	0,13	0,09
Glühverlust	22,29	9,63	3,35	7,72	3,65	7,83	4,9	6,93	22,46
	100,06	99,22	101,02	98,29	101,12	100,8	101,62	99,72	100,46

Tab. 1: Gesteinsanalysen: Metabasite aus dem penninischen Unterengadiner Fenster

x FeO: Gesamteisen als FeO

3. Mineralchemismen

Die Metabasite zeigen sehr unterschiedliche Mineralvergesellschaftungen, die von fast monomineralischen Paragenesen bis zu solchen mit acht Phasen reichen. Darin sind Quarz, Karbonat, Chlorit und Plagioklas (als Albit) Durchläufer, Muskowit, Epidot, Pumpellyit und Hornblende kommen häufig vor, während Stilpnomelan, Lawsonit und Alkali-Hornblende nur in einzelnen Proben aufscheinen.

Mit Hilfe einer Mikrosonde* wurden von sämtlichen Phasen chemische Analysen durchgeführt. Tabellen 2 und 3 zeigen eine Auswahl aus diesen Analysen.

Pumpellyit ist ein häufiges und wichtiges Mineral der Metabasite des Unterengadiner Fensters. Er bildet dunkle, dichte Massen, olivgrüne faserig-stengelige Aggregate oder grasgrün pleochroitische, körnige Aggregate. Sein Nachweis erfolgte optisch und röntgenographisch. Die Sondenanalysen lassen keine Aussagen über die Substitutionen (Al, Mg) (Fe^{+2} , Fe^{+3}) zu.

Lawsonit wurde an drei räumlich getrennten Lokalitäten festgestellt. Im nördlichsten Vorkommen (Fernsterrand bei Fiß) erscheint der Lawsonit mit Calcit gesteinsbildend in kleinen idiomorphen Körnern. Sein Auftreten am SE-Rand des Fensters ist charakterisiert durch Häufung in kleinen Gängen und einzelne Körner in der feinkörnigen Grundmasse. Im dritten Vorkommen scheint er bereits instabil zu werden. Seine Identifizierung erfolgte wie beim Pumpellyit. Lawsonit kommt zusammen mit Calcit, Quarz \pm Albit, Epidot/Klinozoisit, Chlorit, Muskowit und Pumpellyit vor.

Stilpnomelan ist ein seltenes Mineral in den Gesteinen des UEF, und wurde nur in Metatuffiten und in einem Albit-Chlorit-Schiefer gefunden. Es handelt sich durchwegs um braune bis rotbraune Individuen in typisch büscheliger Ausbildung. Seine Paragenesen sind Chlorit und Karbonat, \pm Albit, Epidot und Hornblende.

Alkali-Amphibole (Glaukophanreihe) wurden nur in einem Diabasvorkommen gefunden. Es sind sehr kleine, scharf begrenzte, einschlußfreie und stark pleochroitische Körner. Begleitminerale sind Calcit und Quarz, daneben Stilpnomelan, Chlorit, Epidot und Aktinolit, jedoch kein Albit.

4. Schema der Metamorphose

Innerhalb der Metabasite konnten deutlich vier verschiedene Mineralvergesellschaftungen (siehe Abb. 2), nämlich

- a) Albit – Chlorit – Schiefer
- b) Lawsonit – Pumpellyit – Chlorit-reiche Gesteine
- c) Pumpellyit – Chlorit bis Epidot – Hornblende-reiche Gesteine
- d) Epidot – Hornblende-reiche Gesteine

unterschieden werden. Es zeigt sich dabei regional eine deutliche Abfolge von

* Sämtliche Analysen wurden an der Mikrosonde des Typs ARL SEMQ des Instituts für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck gemacht.

LAWSONITE: Probennummer Analysennummer	PUMPELLYITE:							
	509	548	549	381	44	290	509	549
SiO ₂	38,1	38,4	40,9	39,5	37,6	36,4	35,7	36,1
TiO ₂	0,04	0,01	0,04	0,35	0,01	0,03	0,06	0,07
Al ₂ O ₃	30,9	30,6	30,6	29,0	23,8	22,4	24,3	24,3
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0,01	0,04	0,02
+FeO	0,69	0,62	0,43	2,31	6,2	5,5	4,3	5,8
MnO	-	0,01	-	0,07	0,25	0,16	0,52	0,06
MgO	0,09	0,08	0,08	0,17	2,56	2,24	3,1	1,76
CaO	17,9	17,7	16,9	17,8	22,4	22,8	22,8	23,1
K ₂ O	0,08	0,08	-	0,03	0,01	0,02	0,14	0,02
Na ₂ O	-	-	-	0,02	0,04	0,07	0,05	0,08
	87,74	87,30	58,95	89,25	92,87	89,63	90,51	91,31
Atomare Verhältnisse auf der Basis von 8 O								
Si	2,021	2,041	2,117	2,076	6,118	6,147	5,941	5,989
Al	1,938	1,918	1,867	1,797	4,566	4,460	4,768	4,753
Ti	0,001	-	0,008	0,014	0,001	0,004	0,007	0,008
Cr	-	-	-	-	-	0,002	0,006	0,003
+Fe	0,031	0,023	0,019	0,102	0,844	0,777	0,599	0,805
Mn	-	-	-	0,008	0,035	0,028	0,074	0,008
Mg	0,007	0,002	0,006	0,013	0,621	0,564	0,769	0,435
Ca	1,017	1,008	0,937	1,003	3,906	4,127	3,977	4,107
K	0,001	0,001	-	0,002	0,002	0,005	0,030	0,004
Na	-	-	-	0,002	-	0,023	0,016	0,026
	5,010	4,999	4,948	5,012	16,093	16,132	16,187	16,138
+ Gesamteisen als FeO bzw. Fe ₂ O ₃								

Tab. 2

GLAUKOPHANE:				STILPNOSELANE:							
Probennummer	243	243	243	243	243	474	228				
Analysennummer	5619	5631	5632	5633	5634	5303	5341				
SiO ₂	54,60	54,60	54,90	54,90	53,60	47,7	41,9	49,3			
TiO ₂	0,02	-	0,01	0,02	0,01	-	0,01	0,01			
Al ₂ O ₃	7,70	5,70	6,00	5,00	6,70	6,2	5,7	5,6			
Cr ₂ O ₃	-	-	0,02	-	-	-	0,02	-			
+FeO	20,60	24,50	23,30	25,40	24,00	27,5	29,2	23,9			
MnO	0,14	0,07	0,07	0,05	0,14	0,78	0,15	0,83			
MgO	6,40	4,90	6,20	5,40	4,80	7,5	5,9	9,8			
CaO	0,59	0,73	0,80	0,85	0,42	1,38	0,55	0,42			
K ₂ O	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	1,04	3,2	0,15			
Na ₂ O	6,70	6,60	6,60	6,60	6,90	0,46	0,06	0,02			
Atomare Verhältnisse auf der Basis von 6 O				92,56	86,69	90,03	a.d.Basis von 8 Si				
Si	2,088	2,122	2,104	2,120	2,094	8,000	8,000	8,000			
Al	0,001	-	-	0,001	-	1,226	1,284	1,071			
Ti	0,347	0,261	0,271	0,228	0,309	-	0,002	0,002			
Cr	-	-	0,001	-	-	-	0,002	-			
+Fe	0,659	0,797	0,747	0,820	0,784	3,857	4,663	3,244			
Mn	0,005	0,002	0,002	0,002	0,005	0,112	0,025	0,115			
Mg	0,365	0,284	0,354	0,311	0,279	1,875	1,678	2,369			
Ca	0,024	0,030	0,033	0,035	0,018	0,243	0,113	0,072			
K	-	0,001	0,001	0,001	0,002	0,221	0,781	0,032			
Na	0,497	0,498	0,491	0,494	0,523	0,149	0,023	0,006			
+ Gesamteisen als FeO bzw. Fe ₂ O ₃				3,986	3,995	4,005	4,012	4,013	15,688	16,571	14,911

Norden-Süden bzw. vom Fensterrand zum Fensterinneren im Sinne einer Zonierung von a - b - c - d. Dieser Wechsel der Ca-Al-Silikate von Lawsonit + Pumpellyit zu Pumpellyit + Tremolit + Epidot bis zum Pumpellyit-Abbau, das gleichzeitig zunehmende Sprossen von Ca-Amphibolen und das Auftreten von Alkali-Amphibolen ohne Lawsonit im Zentrum des UEF rechtfertigen die Feststellung, daß hier der Übergangsbereich der Law/Pump - Ab - Chl - Zone zur schwachen (low grade) Metamorphose mit der Paragenese Zoi/Kl'zoi/rel. Fe-arter Ep - Akt - Chl \pm Qu (WINKLER 1974, Seite 173) erreicht wurde.

5. P-T-Bedingungen

Vor dem Nachweis von Lawsonit und Alkali-Amphibol wurden die Gesteine des UEF als sehr schwach metamorph (BEARTH 1967, ERNST 1973, OBERHÄNSLI und DIETRICH 1975) gedeutet, progressiv in Richtung Grünschieferfazies. Die Hochdruckminerale führten zu einer neuen Beurteilung.

	a	b	c	d
CHLORIT	—————			
ALBIT	—————			
LAWSONIT		—————	——	
PUMPELLYIT		—————	—————	
EPIDOT			——	—————
Ca AMPHIBOL			—————	—————
CROSSIT				—————
HEILGLIMMER	—————			
QUARZ	—————			
KARBONAT	—————			

Abb. 2: Fortschreitende Änderung der Mineralvergesellschaftungen mit zunehmender Metamorphose von Norden nach Süden und vom Rand zum Zentrum.

An Lawsonit wurde folgende Bildungsreaktion beobachtet:

Calcit + Qu + Ab – Lawsonit, wobei CC, Qu und Ab Einschlüsse im Lawsonit sind. Ebenso wurde sein Zerfall beobachtet, die Art der Reaktion ist jedoch nicht ganz klar: beteiligt sind Plagioklas, Karbonat, Pumpellyit, \pm Epidot/Kl'zoisit.

Auch der Abbau von Pumpellyit ist im Schliff zu beobachten; er könnte nach der Reaktion von NITSCH (1972) ablaufen: Pump + Chl + Qu – Kl'zoi/Fe-reicher Ep + Akt + H₂O. Für diese Reaktion liegen die experimentellen Daten bei

2.5 kbar und $345 \pm 20^\circ \text{C}$
 4 kbar und $350 \pm 20^\circ \text{C}$
 7 kbar und $370 \pm 20^\circ \text{C}$.

Die Obergrenze der Lawsonit-Stabilität für die Reaktion $5 \text{ Law} - 2 \text{ Zoi} + 1 \text{ Marg} + 2 \text{ Qu} + 8 \text{ H}_2\text{O}$ liegt nach NITSCH (1973) bei:

4 kbar und $345 \pm 10^\circ \text{C}$
 7 kbar und $385 \pm 10^\circ \text{C}$.

Die Untergrenze der Lawsonit-Stabilität liegt nach CRAWFORD & FYFE (1965) für die Reaktion aus Laumontit bei

200°C und $2.8 \pm 0.2 \text{ kbar}$
 250°C und $3.0 \pm 0.2 \text{ kbar}$
 300°C und $3.1 \pm 0.2 \text{ kbar}$.

Diese experimentellen Werte sind jedoch nicht streng auf die hier beschriebenen Vorkommen anzuwenden, da ja deren Bildungsreaktion eine andere war.

Über die Bildungsbedingungen von Glaukophan sind keine genauen Zahlenwerte bekannt, die erforderlichen Drücke liegen aber noch über jenen von Lawsonit.

Aus dem Zerfall von Lawsonit und Pumpellyit und der Bildung von Alkalihornblende kann auf ca. 350°C und 4–5 kbar Druck als maximale Bildungsbedingungen geschlossen werden.

6. Literatur

- ALBEE, A. L. & RAY, L., 1970: Correction factors for electron probe microanalysis of silicates, oxides, carbonates, phosphates and sulfates. — *Anal. Chem.* **42**, 1408–1414.
- BEARTH, P., 1967: Die Ophiolithe der Zone Zermatt–Saas Fee. — *Beitr. Geol. Karte der Schweiz*, N. F. **132**.
- BENCE, A. E. & ALBEE, A. L., 1968: Empirical correction factors for the electron microanalysis of Silicates and Oxides. — *J. Geol.* **76**, 382–403.
- CADISCH, J., 1932: Die Schichtreihe von Ardez (Steinsberg) im Unterengadiner Fenster. — *Ecl. Geol. Helv.*, **25/1**, 17–22.
- , 1948: Unterengadin – Samnaun. — *Schweizer Alpenposten*, PTT, Bern.
- CRAWFORD & FYFE, W. S., 1965: Lawsonite equilibria. — *Am. J. Sci.*, **263**, 262–270.
- ERNST, W. G., 1973: Interpretative Synthesis of Metamorphism in the Alps. — *Geol. Soc. Am. Bull.*, **84**, 2053–2078.

- KUNO, H., 1960: High-alumina basalt. — *J. Petrology*, **1**, 121—145.
- , 1966: Lateral variation of basaltic magma type across continental margins and island arcs. — *Bull. Volcanol.* **29**, 195—202.
- LEIMSER, W. M., 1977: Untersuchungen zur Petrographie und Metamorphose der Gesteine des Unterengadiner Fensters, österr. Anteil. — Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck.
- MEDWENITSCH, W., 1962: Zur Geologie des Unterengadiner Fensters, österr. Anteil. — *Eclogae Geol. Helv.* **55/2**, 460—468.
- NITSCH, K. H., 1972: Das P-T-XCO₂-Stabilitätsfeld von Lawsonit. — *Contr. Mineral. Petrol.*, **34**, 116—134.
- , 1973: Neue Erkenntnisse zur Stabilität von Lawsonit. — *Fortschr. Mineral.*, **51**, Beiheft 1, 34—35.
- OBERHANSLI & DIETRICH, 1975: Geochemische Untersuchungen an Metabasalten der alpinen Ophiolithe. — *SMPH* **55**, 3, 574—576.
- WINKLER, H. G. F., 1974: *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. — New York, 3rd ed., Springer-Verlag.