
LEIMSER, W., PURTSCHELLER, F. (Innsbruck)

Beiträge zur Metamorphose von Metavulkaniten im Pennin des Engadiner Fensters

I) EINLEITUNG

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

II) GESTEINSCHEMISMEN:

Die Vulkanite zeigen sehr verschiedene Zusammensetzungen (Tab. 1 - 3). 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:

Tabelle 1 - 3

Gesteinsanalysen: Metabasite aus dem Unterengadiner Fenster/Pennin.

	283	114	509	514	328	140	540	548	522
	Chl-Ab-Schiefer	Kk-sil-fels	Metahyalo-klastit	Hyaloklastit s. str.?	Chl-Ab-Schiefer	Metahyalo-klastit	Metahyalo-klastit	Metadiabas	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	.31	1.76	1.59	1.59	1.45	1.25	.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	.34	1.3	6.89	8.06	8.5	1.77	3.04
MnO	.05	.24	.28	.23	.14	.2	.19	.06	.14
MgO	4.77	.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	.07	.14	.25	16	.06	1.03	.06	1.76	.08
Na ₂ O	6.67	.91	3.3	4.72	6.0	2.96	3.24	3.45	5.41
P ₂ O ₅	.21	.03	.	1	.21	.14	.1	.04	.07
Glühverlust	2.75	21.24	10.03	12.51	7.18	4.45	4.65	9.11	5.06
TOTAL	101.2	100.33	100.47	98.8	102.3	97.29	102.12	102.19	100.02

	549	290	256	381	369	233	239	243	501
	Metadiabas	Metadiabas	Metapillow	Metahyalo-klastit	Metadiabas	Metadiabas	Metadiabas	Metatuffit	Metahyalo-klastit
SiO ₂	41.0	42.1	52.1	45.9	47.3	43.4	50.9	31.7	53.5
TiO ₂	.07	1.06	1.47	.77	1.6	2.38	1.05	.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	.04	.1	.17	.09	.13	.22	.19	.05	.27
MgO	.64	2.71	4.43	3.9	4.56	8.27	4.1	.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	.61	.33	.07	1.24	.11	.06	.2	.68	.19
Na ₂ O	4.08	.26	3.75	4.4	4.52	1.65	2.74	.89	4.32
P ₂ O ₅	.99	.15	.2	.07	25	.24	.13	.04	.06
Glühverlust	11.02	7.44	6.91	8.32	4.95	3.04	6.83	20.32	6.12
TOTAL	99.63	100.58	100.68	101.72	100.87	100.51	101.39	101.15	99.57

	474	483	406	407	44	47	52	161	494
	Metatuffit	Metatuffit	variolit. Metadiabas	variolit. Metadiabas	Metadiabas	Metahyalo-klastit s.l.	Metadiabas	Metadiabas	Metatuffit
SiO ₂	26.5	47.1	45.1	38.4	49.8	44.5	46.5	46.55	30.3
TiO ₂	.46	.38	2.98	1.73	1.53	1.36	1.06	.87	.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	.12	.1	.06	.24	.19	.22	.11	.14	.16
MgO	2.33	.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	.08	.24	1.3	.75	.18	.11	1.84	.08	.12
Na ₂ O	.47	.71	5.75	5.2	4.45	4.06	3.59	4.93	.98
P ₂ O ₅	.08	.03	.71	.8	.18	.14	.09	.13	.09
Glühverlust	22.29	9.63	3.35	7.72	3.65	7.83	4.9	6.93	22.46
TOTAL	100.06	99.22	101.02	98.29	101.12	100.8	101.62	99.72	100.46

^xFeO: Gesamtisen als FeO

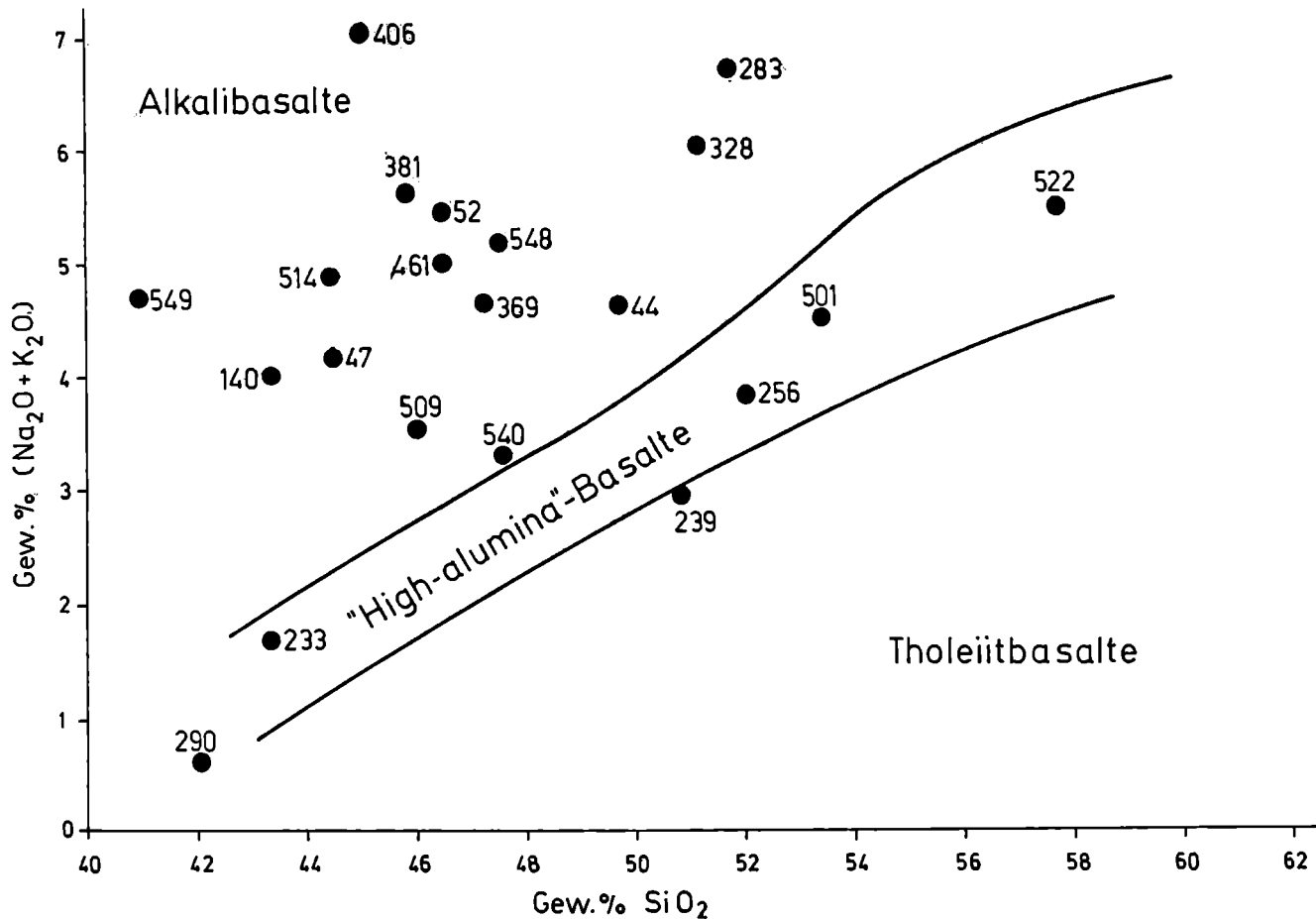


Abb:1 Basalteinordnung nach KUNO (1960,1966)

III) 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 4 und 5 zeigen eine Auswahl aus diesen Analysen.

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

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 (Fensterrand 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.

Tabelle 4

LAWSONITE:					PUMPELLYITE:			
Probennummer	509	548	549	381	44	290	509	549
Analysennummer	5201	5564	5660	5500	2537	2564	5192	5658
SiO ₂	38.1	38.4	40.9	39.5	37.6	36.4	35.7	36.1
TiO ₂	.04	.01	.04	.35	.01	.03	.06	.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	--	--	--	--	--	.01	.04	.02
+FeO	.69	.62	.43	2.31	6.2	5.5	4.3	5.8
MnO	--	.01	--	.07	.25	.16	.52	.06
MgO	.09	.02	.08	.17	2.56	2.24	3.1	1.76
CaO	17.9	17.7	16.9	17.8	22.4	22.8	22.3	23.1
K ₂ O	.02	.02	--	.03	.01	.02	.14	.02
Na ₂ O	--	--	--	.02	.04	.07	.05	.08
TOTAL	87.74	87.38	58.95	89.25	92.87	89.63	90.51	91.31
Atomare Verhältnisse auf der Basis von 8 O					auf der Basis von 24.5 O			
Si	2.021	2.041	2.117	2.076	6.118	6.147	5.941	5.989
Al	1.932	1.918	1.867	1.797	4.566	4.460	4.768	4.753
Ti	.001	--	.002	.014	.001	.004	.007	.008
Cr	--	--	--	--	--	.002	.006	.003
+Fe	.031	.023	.019	.102	.844	.777	.599	.805
Mn	--	--	--	.003	.035	.023	.074	.008
Mg	.007	.002	.006	.013	.621	.564	.769	.435
Ca	1.017	1.008	.937	1.003	3.906	4.127	3.977	4.107
K	.001	.001	--	.002	.002	.005	.030	.004
Na	--	--	--	.002	--	.023	.016	.026
TOTAL	5.010	4.999	4.948	5.012	16.093	16.132	16.187	16.138

+ Gesamteisen als FeO bzw. Fe₂O₃

Tabelle 5

GLAUKOPHANE:					STILPNOBELANE:		
243	243	243	243	243	243	474	228
5619	5631	5632	5633	5634	5649	5303	5341
54.60	54.60	54.90	54.90	53.60	47.7	41.9	49.3
0.02	--	0.01	0.02	0.01	--	.01	0.01
7.70	5.70	6.00	5.00	6.70	6.2	5.7	5.6
--	--	0.02	--	--	--	.02	--
20.60	24.50	23.30	25.40	24.00	27.5	29.2	23.9
0.14	0.07	0.07	0.05	0.14	0.78	.15	0.83
6.40	4.90	6.20	5.40	4.80	7.5	5.9	9.8
0.59	0.73	0.80	0.85	0.42	1.38	.55	0.42
0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	1.04	3.2	0.15
6.70	6.60	6.60	6.60	6.90	0.46	.06	0.02
96.76	97.12	97.93	98.24	96.61	92.56	86.69	90.03
auf der Basis von 6 O					a.d.Basis von 8 Si		
2.088	2.122	2.104	2.120	2.094	8.000	8.000	8.000
.001	--	--	.001	--	1.226	1.284	1.071
.347	.261	.271	.228	.309	--	.002	.002
--	--	.001	--	--	--	.002	--
.659	.797	.747	.820	.784	3.857	4.663	3.244
.005	.002	.002	.002	.005	.112	.025	.115
.365	.284	.354	.311	.279	1.875	1.678	2.369
.024	.030	.033	.035	.018	.243	.113	.072
--	.001	.001	.001	.002	.221	.781	.032
.497	.498	.491	.494	.523	.149	.023	.006
3.986	3.995	4.005	4.012	4.013	15.688	16.571	14.911

IV) 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 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-armen Ep - Akt - Chl ± Qu (WINKLER 1974, Seite 173) erreicht wurde.

	a	b	c	d
CHLORIT	█	█	█	█
ALBIT	█			
LAWSONIT		█	█	
PUMPELLYIT		█	█	
EPIDOT			█	█
Ca AMPHIBOL			█	█
CROSSIT				█
HELLGLIMMER	█	█	█	█
QUARZ	█	█	█	█
KARBONAT	█	█	█	█

Abb. 2:

Fortschreitende Änderung der Mineralvergesellschaftungen mit zunehmender Metamorphose N → S und Rand → Zentrum.

V) 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.

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 Schriff 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 $345 \pm 20^\circ$ C
4 kbar und $350 \pm 20^\circ$ C
7 kbar und $370 \pm 20^\circ$ C.

Die Obergrenze der Lawsonit-Stabilität für die Reaktion 5 Law - 2 Zoi + 1 Marg + 2 Qu + 8 H₂O liegt nach NITSCH (1973) bei:

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

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

200° C und 2.8 ± 0.2 kbar
 250° C und 3.0 ± 0.2 kbar
 300° C und 3.1 ± 0.2 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.

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. -- *Jour. 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. -- *Ecl. Geol. Helv.* 55/2, 460-468.
- NITSCH, K.H. (1972): Das P-T-X_{CO₂}-Stabilitätsfeld von Lawsonit. -- *Contr. Mineral. Petrof.*, 34, 116-134.
- (1973): Neue Erkenntnisse zur Stabilität von Lawsonit. -- *Fortschr. Mineral.*, 51, Beiheft 1, 34-35.
- OBERHÄNSLI & DIETRICH (1975): Geochemische Untersuchungen an Metabasalten der alpinen Ophiolithe. -- *SMPM* 55, 3, 574-576.
- WINKLER, H.G.F. (1974): Petrogenesis of Metamorphic Rocks. -- New York, 3rd ed., Springer Verlag.