Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =

Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 59 (1979)

Heft: 3

Artikel: Zur Geochemie von Metapillows der Region Zermatt-Saas

Autor: Bearth, P. / Stern, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-46070

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Zur Geochemie von Metapillows der Region Zermatt-Saas

von P. Bearth* und W. Stern*

Abstract

The present paper completes earlier analyses of the Zermatt ophiolitic rocks, published by BEARTH in 1967, 1971 and 1973. Thirty new X-ray fluorescence analyses of metapillows are listed, two thirds (pillow core, rim and matrix) showing chemical characteristics of diverging plate boundaries, i.e. of mid-ocean ridges. Main constituents and trace elements were treated according to methods proposed by Pearce (1971, 1976).

Resumé

Die vorliegende Arbeit bildet eine Ergänzung zu den bisher veröffentlichten chemischen Analysen (BEARTH 1967, 1971 und 1973) aus den Ophiolithen von Zermatt-Saas. Sie befasst sich ausschliesslich mit Metapillowlaven. Zwei Drittel der Analysen von Pillowkern, -rand und -matrix entsprechen den Chemismen, wie sie von divergierenden Plattenrändern, d.h. von mittelozeanischen Rücken, bekannt sind. Zum Vergleich wurden neben den Hauptkomponenten auch Spurenelemente benützt und nach verschiedenen Methoden ausgewertet.

EINLEITUNG (PB)

Die Region von Zermatt zeigt die tektonische Gliederung der Westalpen in einer anderswo kaum mehr erreichten Klarheit, Vollständigkeit und Eindrücklichkeit¹). Die Basis des mächtigen Deckenstapels bilden die paläozoischen Gesteine der Bernhard- und der Monte Rosa-Decke, während das Dach durch die Viertausender der Dent Blanche-Decke repräsentiert wird. Zwischen diese Einheiten schieben sich die mesozoischen Bündnerschiefer (schistes lustrés) und Ophiolithe der komplexen *Piemontesischen Decke*, deren externer Teil überwie-

^{*} Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Basel, Bernoullistr. 30, CH-4056 Basel.

¹) In geologischer, nicht aber in landschaftlicher Hinsicht, kann einzig Cogne (Prov. Aosta) damit verglichen werden.

gend aus Sedimenten besteht, während im internen Bogen die Ophiolithe dominieren, aus denen fensterartig die Kuppeln des Monte Rosa, des Gran Paradiso und der Dora Maira herausragen. Diese ophiolithreiche Zone bildet tektonisch eine selbständige Untereinheit der piemontesischen Decke, die – weil sie im Wallis zuerst als solche erkannt wurde – die *Ophiolithdecke von Zermatt-Saas*²) genannt wurde. Sie bildet den internen Bogen der Westalpen von Ligurien bis Zermatt.

Die Zone von Zermatt-Saas s.l. ist aus Teildecken und Schuppen verschiedener Grösse aufgebaut (Bearth, 1973). Alle Elemente einer ozeanischen Kruste sind hier vertreten: serpentinisierte Ultramafite, Pyroxenite und Gabbros, basische Gänge, Laven (meist Pillowlaven) (Bearth, 1967) und zugehörige Sedimente (Bearth, 1976). Eine dem heutigen Modell der ozeanischen Kruste entsprechende stratigraphische Gliederung ist nur noch andeutungsweise vorhanden.

Volumenmässig spielen metamorphe Pillowlaven in der Ophiolithdecke von Zermatt-Saas eine ganz wesentliche Rolle. Sie sind in Eklogite, Glaukophanschiefer, Albitamphibolite, Prasinite und Ovardite umgewandelt, wobei die einzelnen Glieder in dieser Reihenfolge auseinander hervorgehen (BEARTH, 1959, 1962, 1967, 1973).

Über den Chemismus der Mineralien und Gesteine der metamorphen Pillowlaven von Zermatt und Saas orientieren vor allem die Arbeiten von BEARTH 1967, 1971 und 1973. Neuere Daten über die Mineralien sind von DAL PIAZ & ERNST (1978) publiziert worden. Sie stammen ebenfalls aus der Zone von Zermatt-Saas und zwar aus den an das Gebiet von Zermatt anstossenden italienischen Tälern Valtournanche und Val d'Ayas (Prov. Aosta).

Da jetzt eine grössere Anzahl chemischer Analysen von rezenten und subrezenten basischen Laven des Ozeanbodens vorliegt, haben wir zum Vergleich eine Reihe Analysen von Metapillowlaven aus dem Gebiet von Zermatt durchgeführt, wobei auch die Variation im Chemismus von Pillowkern, -rand und der Matrix berücksichtigt wurde. Bei der Mehrzahl der Pillows sind diese drei Abschnitte gut unterscheidbar. Der Kern ist feinkörnig, hat eklogitische Zusammensetzung und geht diffus in den dunkleren, amphibolitisierten Rand über. In ihm häufen sich oft die von FRY & FYFE (1971) beschriebenen Pseudomorphosen von Zoisit und Paragonit nach Lawsonit (vgl. auch BEARTH, 1973). Die Matrix zeichnet sich durch Heterogenität, grobes Korn und variable mineralogische Zusammensetzung aus. Sie führt neben Omphazit, Glaukophan, Zoisit, Paragonit und Phengit vor allem auch Quarz und Karbonat (meistens Kalzit).

Alle Proben wurden aus praktischen Gründen aus Moränenblöcken erbohrt.

²) Ursprünglich als Lokalname gedacht, wurde diese Bezeichnung von G. V. DAL PIAZ später auf den ganzen internen Ophiolithbogen der Westalpen ausgedehnt.

Die Mehrzahl stammt vom Täschtal, aus Moränen des Mellich- und des Längfluegletschers. Der Rest wurde Eklogiten der Allalinmoräne bei Mattmark entnommen. Sämtliche Proben stammen vom Pillowkomplex des Rimpfischhornes, der aus mehreren, durch Brekzien getrennten Laven besteht.

PROBENAHME (WS)

Grobkörnige, oder texturell inhomogene Gesteinskörper sind chemisch schwer erfassbar – eine Einzelprobe, oder eine kleine Probenserie hat aus folgendem Grund wenig Aussagekraft: im Falle der eklogitischen und amphibolitischen Pillowlaven liegt die maximale Korngrösse der Granate und Glimmer bei etwa einem halben Zentimeter. Dies müsste nach SCHROLL (1975, I, p. 15) zu

Fig 1: Schema der Probenahme an zwei Bohrkernen

Fig 1: Schema der P	robenanme an zwei Bonrkernen	TOOGRAMME AN ZWEI DOM KEINEN									
	PVB 1730 Mattmark Pillowkern 1 Präparate Dünnschliffplatte	XV 3681,	IX 3908								
0 //	Pillowkern 1	3684	3909								
① (()											
	Pillowrand 1	3686	3910								
-0	Matrix zwischen Pillow 1 und 2	3689	3911								
①/ M1/2	Pillowkern 1	3688	3912								
6	Pillowkern 2	3691/92	3913								
The state of the s	Dünnschliffplatte										
500000	PVB 1724 Täschtal										
ME	Matrix	3663/64	3914								
0.10	Pillowkern 6	3666	3915								
© ©	Pillowkern 6	3667/68	3916								
	PUI - 1 C	3670	2015								
0	Pillowkern 6	36/0	3917								
6											
<u> </u>	Matrix zwischen Pillow 6 und 7	3671/72	3918								
M 6/7											
7	Pillowkern 7	3674	3919								
WINE O	Matrix zwischen Pillow 7 und 8	3675/76	3920								
	Pillow 8	3678	3921								
6/10/1	Matrix + Pillowrand 8	3679/80	3922								
											

1729-2.5 5 Kern 3998 3979 124.4 3.43 25.5 44.34 15.11 14.97 7.4 7.4 5.5 5.5 1.86 1.78 1.78 1.5 3.5 48.5 16.9 12.7 4.9 1720-2.4 124.6 6.73 .46 M 4/546.3 19.8 3.6 3.8 .13 4.1 8.4 3.7 1.25 1.25 2.5 31.4 32.58 24.21 11.79 3996 3978 4 Kern+Rd. 1729-2.3 131.0 4.02 51.7 14.5 4.6 6.6 7.6 7.6 5.1 4.5 .90 21.6 51.98 13.84 12.50 3993 3977 3Rd.+M3/4 1729-2.2 131.9 3.74 .50 23.0 3.0 3.0 4.2 4.1 5.9 4.8 1.188 1.88 35.9 31.82 16.74 15.53 3992 1729-1.1 2 Kern+Rd.3 Kern 120.6 2.87 .22 100 9.4 7.7 4.2 4.2 1.60 1.60 1.6 17.6 52.14 19.73 10.48 3990 50.4 12.5 4.9 4.8 1730-9 122.3 3.89 .17 49.4 14.3 3.5 5.0 11. 6.7 9.1 1.34 1.34 1.34 1.34 1.37 1.37 20.8 41.83 24.14 13.15 99.61 3691 3913 1 Kern 3688 3912 1730-7 116.2 2.69 .28 48.0 14.7 3.1 6.3 6.8 9.8 3.8 1.48 1.6 2.9 20.9 43.23 25.41 10.38 1730-4 70.9 3.23 .28 19.2 40.15 35.90 4.70 33.0 15.2 3.2 5.6 .15.6 11.2 1.61 2.00 31 2.8 M 1/2 3689 1730-3b 1 Rand 113.9 2.79 .38 46.9 16.0 3.4 6.1 10.2 3.5 1.09 1.53 1.4 2.9 22.8 40.64 26.53 9.92 3686 1730-3a 1 Kern 116.3 3.66 13. 20.4 42.43 26.10 10.98 48.2 14.4 3.4 5.2 7.1 10.1 4.2 76. 2.02 2.02 1.8 1.8 3684 Hauptkomponenten Wt-8 1 verw.
3681
3908 3.34 .13 5.6 11.4 3.8 .59 1.83 1.1 1.1 1.8 22.6 37.89 29.64 9.85 47.9 15.8 3.4 5.5 Niggli-Werte al Pillow Nr. MATTMARK Sio₂ Al₂O₃ Fe₂O₃ FeO Summe MnO MgO CaO

Tab. I Analysendaten

46.1 18.95 1.93 3.89 .12 10.49 5.60 8.55 2.55	. 100.00 100.00 < 50 20 35	10650 85 A 50 90 55 195 125 15	155 35 355 125
45.2 22.79 2.64 3.10 .10 5.96 8.79 7.00 1.55	100.00 6 0 6 0	19950 150 ~ 50 130 210 140 25 375	305 80 625 125
48.6 16.07 3.25 5.18 10.64 5.13 8.20 1.07	4 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	12650 110 ^ 50 180 65 260 25 95	195 30 365 155 Rand
45.7 24.92 2.07 3.22 3.22 5.61 5.81 1.22 1.22	99.99 6 50 7 50	11250 105 < 50 80 70 145 35 30	170 19 40 3 390 36 120 15
47.8 13.98 3.50 3.81 13.29 7.83 7.72 5.59	100.00 <50 <20 45	9600 95 7 50 205 205 100 35	185 35 340 125 riert, Anga
46.9 16.01 2.50 3.97 .08 9.48 9.26 8.47 1.62	100.00 < 50 100 45	12550 115 A 50 160 100 200 30 115	175 125 145 185 85 40 35 35 35 285 205 270 340 285 205 270 340 281 Schema Fig. 1 Lowindividuen sind fortlaufend numeriert, der RF-Schmelzpräparate (Hauptkomponente) " RF-Presslinge (Spurenelemente)
46.3 16.72 2.25 5.08 .12 9.77 10.13 7.10	100.00 < 50 < 20 55	8850 90 ~ 50 145 105 210 25 165 25	125 40 205 205 nema Fi. ind fortlé räparate (ge (Spurer
35.6 19.37 2.60 5.06 12.40 18.07 2.51 2.22 1.62	99.99 1100 < 20 70	12000 105 6 50 135 105 175 30 415	175 125 145 85 40 35 285 205 270 9, vgl. Schema Fig. 1 ndividuen sind fortlaufend num RF-Schmelzpräparate (Hauptkomp RF-Stlinge (Spurenelemente)
45.5 18.29 2.48 4.94 .13 8.67 10.60 6.58 1.34	99.99 < 50 < 20 55	9150 100 750 125 80 195 30 30	145 50 230 shezeichnung ser Pillowing
46.2 16.26 2.45 4.16 .09 10.37 7.80 .92	99.99 150 20 45	12100 115 < 50 135 70 210 20 220 15	155 145 175 1 50 50 85 270 230 285 2 Feld-Probenbezeichnung, vgl. Schema Die einzelnen Pillowindividuen sind Labornumerierung der RF-Schmelzpräpa
46.0 17.88 2.45 4.41 .10 8.01 11.72 7.07 7.07	Spurenelemente, ppm S	10950 130 6 5 200 25 265 30	160 40 230 ow Nr.:
Kationen-% Si Al+3 Fe+2 Mn Mg Ca Na Ti	Summe Spurenelen S C1 Sc	Ti Cr Cu Zn Y Y	Zr Nb Ba Pb Rubrik PVB: XV:

ASCHTAL									#1000 PP 0000	
78	1724-a2	1724-a3		1724-b7			1724-C14	1724-C15	1724-C16	
illow Nr.	M/6	6 Rand		6 Kern	M/7	7 Kern+Rd.M 7/8	M 7/8	8 Kern	8Rd.+Matrix	
	3663	3666		3670			3675	3678	3679	
· ×	3914	3915	3916	3917			3920	3921	3922	
auptkompone	enten Wt-8									
Ċ.	39.5		50.7	50.7	40.7	51.7	47.8	53.6	46.2	
20	16.7		15.3	15.5	18.6	13.2	17.2	12.3	18.3	
2.3	3.0		3.6	4.0	2.9	3.6	4.0	3.8	3.8	
. 22 3 62 3	5.7		5.8	4.8	4.2	5.7	5.0	5.8	5.5	
Out.	.20		.17	.13	.15	.14	.14	.12	.14	
Q L	7.1		6.9	7.1	6.1	0.6	5.0	9.6	4.3	
Oe'	11.9		8.8	8.4	12.9	5.5	11.5	4.9	12.1	
O el	3.7		4.5	4.9	3.9	5.5	3.9	5.5	3.6	
270	.33		.10	.11	.28	.23	.33	.21	.42	
25.	1.77		1.70	1.40	1.28	1.47	2.47	1.19	2.47	
0.02	.25		.38	.30	.49	.16	.39	.12	.31	
12°5 10	2.9		1.6	1.5	2.7	1.7	1.3	1.0	1.5	
, 202	6.7		.2	4.	5.7	1.3	7.	1.1	6.	
Summe 99.75	99.75	99.43	99.65	99.33	06.66	99.20	99.73	99.24	99.54	
Niggli-Werte	l to				9	6		0	0	
11	22.28		22.07	22.46	25.11	19.37	24.59	T8.08	65.67	
fm	40.24		44.02	43.55	34.15	52.31	35.81	55.18	33.70	
r	28.86		23.07	22.12	31.65	14.67	29.89	13.07	31.24	
alk			10.83	11.84	90.6	13.63	89.6	13.63	9.05	
7			124.1	124.7	93.2	128.7	116.0	133.7	111.3	
		3.10	3,12	2.75	2.20	2.75	4.50	2.23	4.47	
	.23	.30	.39	.31	.47	.16	.40	.12	.31	
		c	36	7.7	ď	36	41	.37	.38	
·*	.32	97.		7.	9		፥ u		20.	
~	.05	.01	.01	.01	.04	.02	co.	20.	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	
mg	.59	09.	.57	. 59	. 60	.63	.50	.64	.45	

	44.2	20.6	2.73	4.40	.11	6.13	12.42	6.68	.51	1.77	.25	66.66			2000	₹ 20	75	14800	250	~ 20	135	95	140	15	335	20	190	09	390
	49.9	13.4	2.66	4.51	60.	13,31	4.88	9.92	.24	.83	60.	66.66			< 50	80	30	7150	150	v 50	220	75	205	10	100	5	06	20	180
	45.3	19.2	2.85	3.96	.11	7.07	11.69	7.17	.39	1.76	.31	66.66			1000	< 20	70	14800	260	c 50	145	115	155	15	300	20	180	09	340
	48.6	14.6	2.54	4.48	.11	12.60	5.53	10.02	.27	1.03	.12	66.66			200	< 20	30	8800	140	~ 50	125	85	225	15	50	Ŋ	70	70	150
	40.4	21.7	2.16	3.48	.12	9.02	13.72	7.50	.35	.95	.41	66.66			790	~ 20	20	7650	145	v 50	145	135	135	10	285	25	110	40	190
ñ	47.5	17.1	2.82	3.76	.10	9.91	8.43	8.90	.13	1.04	.23	100.00			270	< 20	45	8400	175	< 50	170	85	185	15	180	15	110	35	245
	47.5	16.9	2.54	4.54	.13	9.64	8.84	8.18	.11	1.19	.30	66.66			< 50	< 20	20	10200	205	4 50	170	95	175	5	180	30	130	20	245
	47.8	16.5	1.96	4.84	11.	10.58	6.91	9.60	.15	1.16	.22	66.66	٠		~ 20	< 20	20	9950	180	~ 50	160	100	185	15	140	15	115	30	200
	39.9	19.9	2.28	4.82	.17	10.70	12.89	7.25	.42	1.34	.21	66.66		nente, ppm	700	~ 20	09	10600	185	~ 50	140	120	155	15	200	25	145	40	285
Kationen-%	Si	Al,	Fe t	Fe '	Mn	Mg	Ca	Na	×	Ti	д	Summe		Spurenelemente,	ß	C1	SC	Ti	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	×	Zr	qN	Ba

	1727-2.2 2 12 Kern 3987 3974	00 11 11 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13	.21 .05 .55
	17; 12 12 398 397	52.0 15.0 2.1 6.7 6.0 5.2 .46 1.88 4.1 nb 100.15 14.54 17.30 14.35 14.35 140.0	
	1727-2.1 11Rd+11/12 3986 3982	47.5 18.8 3.3 6.0 6.0 12.2 2.1 2.1 .30 1.6 99.97 26.6 35.57 31.40 6.40 114.1 2.70	.33
	1727-1.3 11 Kern 3983 3981	49.4 13.8 2.3 7.4 .22 8.1 9.1 3.5 .11 1.65 2.4 100.02 19.4 48.34 23.36 8.80 118.4	.21
	1727-1.2 M/11 3981 3980	28.3 29.55 1.35 1.35 1.35 1.35 29.55 29.55 36.96 5.15 114.7 2.46	.38
	1726-3.1 M 9/10 3980 3973	57.8 13.5 2.6 3.5 .16 2.1 .10 1.16 .37 2.2 3.1 99.19 26.7 30.89 35.29 7.05 194.3 .52	.40
e	1726-2.3 10 Kern 3977 3972	51.3 16.4 3.6 3.4 3.5 10.1 4.5 2.1 2.2 26.9 30.39 30.21 12.40 143.2 4.42	
	1726-2.2b 10 Rand 3976 3971	52.3 3.8 5.1 2.5 2.1 10.7 .2 .12 1.49 1.8 1.8 1.8 30.4 30.1 33.04 6.36 150.8	.40
	1726-2.2a M 9/10 3973 3970	60.9 6.8 2.7 2.7 4.7 10.5 .04 .04 .12.2 15.3 38.09 43.10 3.44 233.4 233.4	.21
	1726-1.2 '9Rd+M9/10 3972 3969	51.8 16.1 3.6 4.7 .18 3.7 9.2 4.6 .11 1.94 .39 .9 2.3 2.3 26.2 34.01 27.24 12.51 143.2 4.03	.40
,	1726-1.1 9 Kern 3969 3968	15.4 4.0 4.0 4.1 9.5 5.1 1.87	.46
" TASCHTAL	PVB Pillow Nr. XV IX	Sunme Sio 51.5 Al 203 4.0 Fe 203 4.0 Fe 203 4.0 MOO .18 MOO .18 No 20 9.5 No 20 9.5 No 20 1.87 Po 2 1.0 Co 2.2 Summe 99.55 Niggli-Werte al 34.51 c 27.47 alk 13.51 si 139.0 ti 3.79 Po 204.5	× k mg

Katlonen-*										
Si	49.35	49.91	65.81	51.69	49.73	58,51	45.60	47.38	45.57	49.51
Al,	17.38	18.28	8.65	20.84	18.73	15.10	22.54	15.59	21.25	16.82
Fe .	2.88	2.60	.65	2.82	2.62	1.98	2.54	1.65	2.38	1.50
Fe +2	3,36	3.78	2.43	4.21	2.75	2.96	4.03	5.93	4.81	5,33
Mn	.14	.14	80.	.20	.11	.13	.11	.17	.14	.12
Mg	5,85	5,31	7.56	3.09	5.05	4.22	5.03	11.57	6.85	8,79
Ca	9.74	9.49	12.15	11,32	10.48	10.62	14.69	9.34	12.53	6.11
Na	9.46	8.58	1.88	4.21	8.45	4.11	3.55	6.50	3.90	9.59
X	.12	.13	.05	.15	.16	.12	.54	.53	1.21	.55
Ti	1.34	1.40	.36	1.10	1.53	88.	96.	1.18	1.08	1.34
Q.	.32	.31	.32	.31	.33	.31	.34	.08	.24	.29
Summe	66.66	100.00	66.66	100.00	66.66	66.66	66.66	66.66	66.66	100.00
Spurenel	Spurenelemente, ppm							ě		
S	< 50	~ 50	195	490	~ 50	< 50	> 50	290	₹20	3800
CJ	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20 >	< 20	<20	\$20
Sc	55	55	40	55	45	40	70	55	70	45
Ti	11200	11650	2700	8950	12650	6950	8100	0066	0006	11250
Cr	06	95	40	75	100	55	170	165	160	160
ပ္ပ	< 50	< 50	> 50	< 50	< 50	< 50	× 50	> 50	< 50	× 50
Ni	115	120	70	85	105	70	170	170	115	160
Çņ	65	65	50	140	65	85	115	100	85	80
Zn	170	170	95	130	145	105	155	225	170	210
Rb	5	10	5	5	Ŋ	10	Ŋ	10	15	5
Sr	385	430	485	850	585	725	410	120	260	65
¥	20	40	10	20	25	35	35	25	30	5
Zr	245	265	75	200	235	155	145	145	145	135
qN	20	40	15	35	50	40	50	40	45	35
Ва	345	370	85	305	360	215	310	325	345	300
Pb	120	115	100	140	110	120	105	145	125	80

einer minimalen Probenmenge von rund 10 kg führen. Wird aber der einzelne Pillowkörper als Grundeinheit genommen, so müssten Durchschnittsproben von Tonnenschwere entnommen werden.

Eine sinnvolle Probennahme sollte

- mit manipulierbaren Probenmengen auskommen (kg-Bereich)
- Lokalisierung der Einzelprobe ermöglichen, also nicht auf Gesteinsgrus von Sprengungen basieren
- frisches Gesteinsmaterial garantieren, also nicht auf Gesteinsoberflächen angewiesen sein.

Abschläge von Hand oder Sprengungen schieden somit a priori aus. Mittels eines tragbaren Bohraggregates (Benzinmotor, Generator, elektrischer Kernbohrer mit Stativ) wurden an ausgesuchten Moränenblöcken im hinteren Täschtal (Koord. 630.65 / 98.45 / 2400 m) und beim Mattmarkstaudamm (Koord. 640.0 / 100.7 / 2050 m) Kernbohrungen von jeweils 20 bis 30 cm Länge und 4.5 cm Durchmesser gezogen, und aus den Kernen mit der Diamantsäge Fragmente von jeweils Pillowkern, -rand und Matrix herausgeschnitten, Fig. 1 zeigt in schematischer Weise dieses Vorgehen anhand von zwei Bohrkernen. Angesichts der kompliziert geformten Pillowkörper liessen sich die verschiedenen Partien nicht immer sauber trennen – solche Fälle sind in der Analysentabelle entsprechend gekennzeichnet. Die einzelnen Sägefragmente, jeweils etwa 0.1 kg, wurden von Hand zerkleinert und in einer Achat-Scheibenschwingmühle pulverisiert; eine Behandlung mit dem Magnetseparator erfolgte nicht, um eine Entfernung von Erzen aus dem Gesteinspulver, sowie eine Klassierung des Pulvers zu vermeiden.

ANALYTIK

Von insgesamt dreissig Proben wurden je drei Analysenpräparate hergestellt, nämlich je zwei Schmelzaufschlüsse für die röntgenfluoreszenzanalytische Bestimmung der Hauptkomponenten, sowie ein polymerisierter Pressling für die RF-Spurenanalyse. Die analytischen Einzelheiten sind andernorts publiziert (STERN, 1979); die Zuverlässigkeit der Ergebnisse lässt sich wie folgt abschätzen:

Die zählstatistische Reproduzierbarkeit war in der Regel besser als 1% rel.

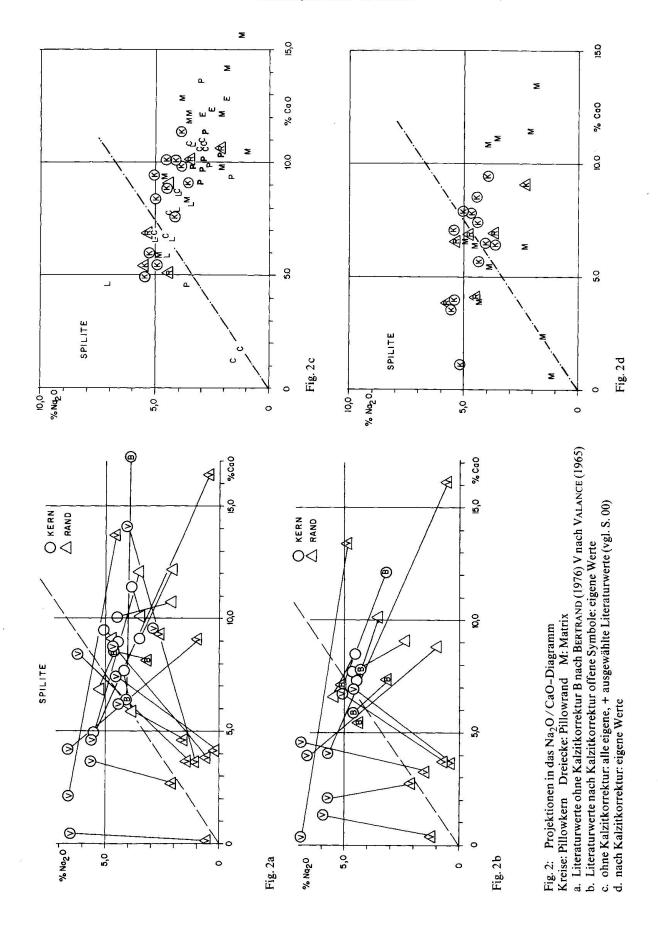
ERGEBNISSE

Insgesamt wurden 12 verschiedene Pillowkörper unterschiedlicher Grösse (ca. 10 bis 30 cm Längsachse) aus fünf Bohrkernen erfasst und nach Möglichkeit jeweils die Pillowkern- und Randpartie, sowie die zwischen den Pillows vorhandene Matrix gesondert analysiert. Die unterschiedliche Grösse der einzelnen Körper, bzw. die Kleinheit der Bohrkerne liess nur in wenigen Fällen eine, an sich wünschbare Entnahme mehrerer Proben aus demselben Komplex (Kern, Rand) eines einzelnen Pillows zu. Die Analysenresultate der chemischen Hauptkomponenten von 14 Kernen, 6 Säumen und 10 Matrixproben sind in Tab. 1 festgehalten.

Ein besonderes, und in der Literatur wenig beachtetes Problem ist die Anwesenheit von zum Teil erheblichen CO₂-Konzentrationen in Metabasalten (vgl. auch Lensch et al., 1979). Gerade in der neueren Literatur fehlen oft Angaben über den CO₂-Gehalt, aber die teilweise hohen Glühverlust-, bzw. Wasserwerte legen den Verdacht nahe, dass CO₂ in Metabasalten generell eine chemische Hauptkomponente ist. Wo die petrographische Literatur Karbonate erwähnt (Bearth, 1967, Dal Piaz, 1979) ist insbesondere beim Matrixmaterial zwischen einzelnen Pillows in erster Linie Kalzit gemeint, das jedenfalls eine späte, alpinmetamorphe Bildung sein dürfte, wobei einstweilen ungeklärt ist, ob ledig-

Tab. II: Durchschnittswerte und Variationskoeffizienten der chemischen Hauptkomponenten

Bereich	KERN		RAND		MATRIX	ζ.
N	14	(0/)	6	(0/)	10	(0/)
	x	v (%)	X	v (%)	X	v (%)
A. Unkorrigier	te Werte					
SiO ₂	50.2	3.4	50.6	4.0	46.7	17.5
$Al_2\bar{O}_3$	14.8	8.8	16.9	20.0	16.5	23.9
FeO total	8.7	10.9	8.4	10.4	7.5	23.6
MgO	6.9	24.7	5.4	47.9	5.0	30.8
CaO	8.3	25.3	8.1	27.9	11.9	17.5
Na ₂ O	4.5	12.7	4.3	29.0	2.7	43.7
K ₂ Õ	.60	86.6	.60	124.5	.58	90.3
TiO ₂	1.77	15.4	1.66	12.3	1.78	46.2
H_2O	1.5	37.6	1.5	33.9	2.0	33.6
CO_2	1.8	53.4	1.6	62.7	4.2	94.2
B. Kalzit-korri	gierte Werte					
SiO ₂	52.4	2.8	52.3	3.9	52.0	20.8
Al_2O_3	15.4	9.8	17.4	18.6	18.1	21.0
FeO total	9.1	10.1	8.7	12.1	8.2	23.5
MgO	7.1	24.3	5.6	47.4	5.3	47.5
CaO	6.2	36.4	6.5	25.8	7.2	59.8
Na ₂ O	4.7	12.1	4.5	28.1	3.0	42.4
K ₂ Õ	.64	88.2	.60	122.6	.66	99.2
TiO ₂	1.85	15.9	1.72	12.1	1.95	44.4
H ₂ O	1.5	15.5	1.7	25.4	2.2	44.1



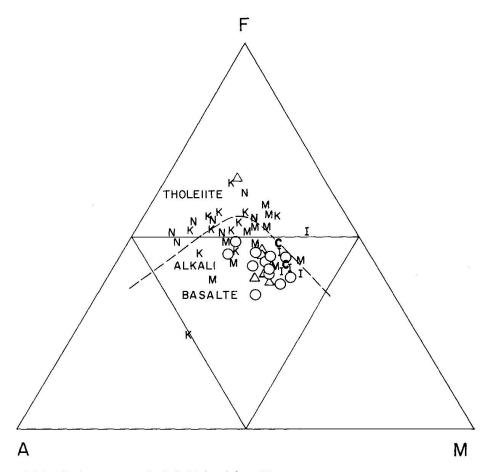


Fig. 2e: Projektion in das AFM-Dreieck, kalzitkorrigierte Werte $A = wt-\% Na_2O/ + K_2O$, f = wt-% FeO total, M = wt-% MgO

Literaturpunkte: C Pillows Zypern nach PEARCE (1975)

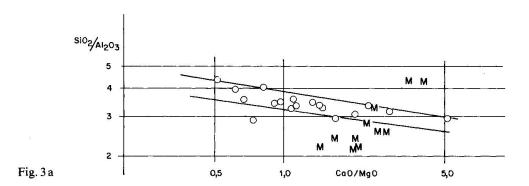
I Tief-K-Tholeiite der mittelatlantischen Rücken, nach IRVINE & BARAGAR (1971)

K Pillows der Appalachen, nach KEAN & STRONG (1975) N Pillows aus Neufundland, nach Norman & Strong (1975)

lich CO₂ via wegsame Matrixbereiche zugeführt und Ca durch Mineral-Abbaureaktionen freigesetzt wurde, oder ob auch Kalzium durch metasomatische Prozesse hinzugekommen ist. Soll nun aber der Gesteinschemismus von Metabasalten zu Vergleichen mit rezenten basaltischen Gesteinen herangezogen werden (vg. p. 367), so sollte CO₂, bzw. Kalzit – als die mutmassliche karbonatische Hauptkomponente – rechnerisch eliminiert werden. In der bisherigen Literatur (ZB WILKINSON et al., 1974, CHURCH et al., 1975, NORMAN et al., 1975, OBERHÄNSLI, 1978, NEALE, 1979, LIOU et al., 1979) ist dies nur in vereinzelten Fällen (BERTRAND et al., 1975) geschehen. Eine solche Kalzitkorrektur führt bei allen graphischen Darstellungen, die nicht auf Elementquotienten beruhen, sondern unmittelbar auf Kalzium abstützen, und vor allem auch bei der Pearce'schen Diskriminantendarstellung, zu ganz erheblichen Verschiebungen der Projektionspunkte, vgl. auch Fig. 2, 7. Diesem Sachverhalt ist es vermutlich auch zuzuschreiben, wenn sich einzelne Literaturdaten, bei denen infolge fehlender

CO₂-Angaben keine Korrektur vorgenommen werden kann, abweichend verhalten.

Bei den Mittelwerten von Kern, Rand und Matrix (Tab. II) ist nach der Kalzitkorrektur in Richtung Matrix eine Zunahme von Al₂O₃ und TiO₂, sowie eine Abnahme von MgO und Na₂O feststellbar; SiO₂, FeO_{tot.}, MnO und K₂O zeigen keine belegbare Tendenz. Im Einzelnen unterscheiden sich freilich Kern, Rand und Matrix in Bezug auf die Variationskomponenten der meisten Hauptkomponenten: die chemische Inhomogenität der Matrix ist um ein Vielfaches grösser als jene des Kerns. Die Pillowkerne streuen jedoch grössenordnungsmässig im Rahmen des zu erwartenden analytischen Fehlers (Varationsbreite umgekehrt proportional zur absoluten Konzentration) – Ausnahmen bilden MgO, CaO und K₂O. Entsprechend zeigt die Projektion der Analysen mit den Quotienten aus SiO₂ und Al₂O₃ einerseits, und CaO und MgO andererseits ein langgestrecktes, schmales Band, wobei erwartungsgemäss die Matrixpunkte stark streuen, aber auch Pillowindividuen aus ein und demselben Bohrkern bedeutend voneinander abweichen können, vgl. Fig. 3. Offensichtlich können Extremwerte der beobachteten Variationsbreiten in benachbarten, ca. ein Dezime-



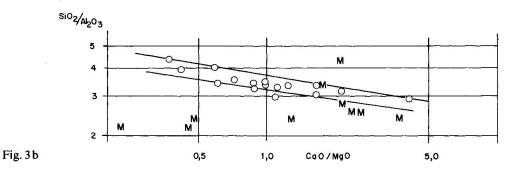


Fig. 3: Chemische Hauptkomponenten als Quotienten im XY-Diagramm Kreise: Pillowkern, -rand, M Matrix Die Variationen von Pillowkern und -rand bewegen sich in einem schmalen Bereich, im Gegensatz zu Matrix a. Projektion ohne Kalzitkorrektur b. Projektion nach Kalzitkorrektur

ter voneinander entfernten Pillowkörpern auftreten und es liegt nahe, hierfür nicht metamorphe Differentiationsvorgänge verantwortlich zu machen. Vielmehr dürften sich hier primäre, präalpinmetamorphe chemische Unterschiede abbilden. Ein ähnlich konservatives Verhalten ist schon früher beim Vergleich von Kern und Rand metamorpher Pillows festgestellt worden, z. B. von Vallance (1965).

Ähnliches ist über die Matrix zu sagen: im Bohrkern benachbarte Matrixproben streuen unter Umständen in weiteren Grenzen als Stichproben aus Bohrkernen verschiedener Provenienz. Auch hier ist die Annahme primärer Stoffunterschiede die wahrscheinlichste, obwohl die Matrix infolge ihrer grösseren Wegsamkeit alpin-metamorphen Veränderungen in erhöhtem Masse ausgesetzt gewesen ist.

Grundsätzlich eignen sich Spurenelemente für manche geochemischen Fragestellungen besser als die Hauptkomponenten, da z.B. bei Elementverteilungen zwischen verschiedenen koexistierenden Phasen die Nernst'schen Gesetze für kleine Konzentrationen Gültigkeit haben, aber nicht unbedingt für grosse. Andererseits sind Spurenelemente im allgemeinen mit einem grösseren analytischen Fehler behaftet, sodass Elementquotienten a priori stärker streuen müssen, vgl. Fig. 4.

Ferner wird noch immer nicht auszuschliessen sein, dass spezifische Analysenverfahren (element-)spezifische Absolutfehler aufweisen, dass also Daten,

Pillow Nr.	Analysen- bezeichnung	Cr	Ni	Cu	Zn	Sr	Zr	Ba	Nb
1 Kern	IX 3908	130	130	70	200	265	160	230	40
1 Kern	IX 3909	115	135	80	210	220	155	270	50
1 Kern	IX 3912	90	145	100	210	190	125	205	40
1 Rand	IX 3910	100	125	85	195	165	145	230	50
6 Kern	IX 3916	205	170	80	175	180	130	245	20
6 Kern	IX 3917	175	170	85	185	180	110	245	35
6 Rand	IX 3915	180	160	90	185	140	115	200	30
P (%), vgl. u	nten	>99	>99		>99		>95		>95
Matrix	IX 3970	40	70	45	95	485	75	85	15
idem	IX 3973	55	70	70	105	725	155	215	40
id+rand	IX 3969	95	120	65	170	430	265	370	40

Tab. III: statistisch belegbarer Unterschied im Spurengehalt verschiedener Pillowindividuen

P ist die Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit der Aussage, dass Pillow 1 und Pillow 6 in bezug auf ein gegebenes Spurenelement voneinander verschieden sind. Nicht signifikante Wahrscheinlichkeiten von P <95% wurden nicht in die Tabelle aufgenommen. Zu beachten ist der besondere Charakter der Stichproben aus einer Matrix (grosse Variationsbreiten der meisten Spurenelemente).

400 ppm Sr

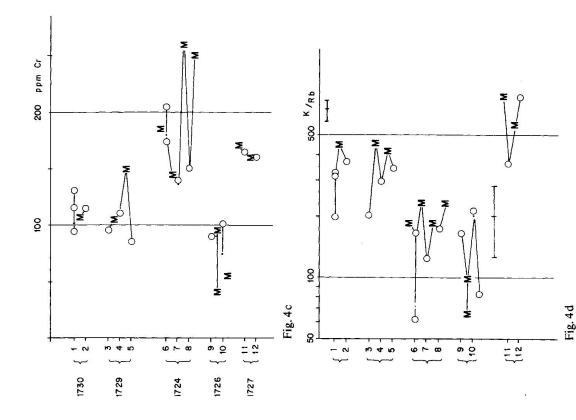
8

0

ю 4 ю

1729

1730



11-

1727

6 0

1726

ø ► ø

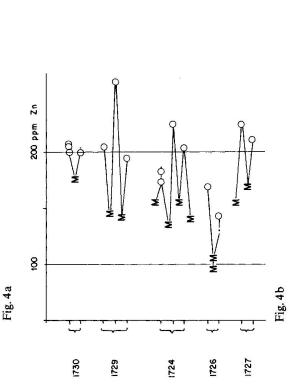
1724

Fig. 4: Spurenelemente und ihre Verteilung zwischen einzelnen Pillowindividuen. Kreise = Kern, Punkte = Rand, M = Matrix. Numerierung der Pillows, sowie Bezeichnung des Bohrkerns vertikal angeordnet.

Individuum zu Individuum verschieden d. Variation liegt innerhalb des Fehlerbereiches (Fehlerkreuz!)

c. Sprenggehalt von Matrix und Pillow ähnlich, aber von

a. Matrix spurenreicher als Pillow b. Matrix spurenärmer als Pillow



die nach derselben analytischen Methode gewonnen worden sind, ein überzeugendes geochemisches Bild ergeben können, aber nicht mit Literaturwerten konsistent sind. Schon aus diesem Grunde ist es unerlässlich, dass nicht nur Hinweise auf die analytischen Grundlagen mitpubliziert werden, sondern auch die chemischen Rohdaten – und nicht nur die aus jenen abgeleiteten Diagramme.

Während die Hauptkomponenten, bzw. deren Änderung von Ort zu Ort, sich im allgemeinen auch in einer mineralogischen Variation widerspiegeln müssen, gilt Analoges für die Spurenelemente nicht unbedingt, d.h. es sind Streuungen der Spurengehalte auch in mineralogisch homogenen Gesteinen denkbar. Man sieht sich demnach vor die Aufgabe gestellt, als erstes die chemische Variation im Kleinbereich (cm³, dm³) zu prüfen, ehe etwa die einzelnen Pillowkörper miteinander verglichen werden können, oder generelle Aussagen über den Spurenchemismus möglich sind. Es ist unerlässlich, in einem Testfall von je einem Pillowkörper mehrere Proben zu entnehmen und getrennt zu analysieren. Mittels geeigneter statistischer Verfahren ist es dann möglich, elementweise eine Wahrscheinlichkeit anzugeben für die Aussage, dass die untersuchten Pillows - in Berücksichtigung der Stichprobenzahl - verschieden sind oder nicht, vgl. Tab. III. Unterschiede werden sich dann nachweisen lassen, wenn erstens die chemische Variationsbreite innerhalb eines Pillowindividuums kleiner ist als zwischen verschiedenen Individuen, und wenn zweitens der analytische Fehler kleiner ist als die natürliche Variationsbreite eines Elementes. Aus Tab. III ist ersichtlich, dass sich zwei Pillows in Bezug auf gewisse Spurenelemente in statistisch signifikanter Weise (Wahrscheinlichkeiten grösser 95%) unterscheiden. Beim Vergleich von Pillows und Matrix fällt auf, dass Strontium und Barium in der Matrix in höheren, Nickel und Zink dagegen in tieferen Konzentrationen vorliegen als in den Pillows, vgl. Fig. 4.

ZUR HERKUNFT DER OPHIOLITHE

Die Ophiolithe von Zermatt-Saas werden aufgrund feldgeologischer Evidenzen, und im Lichte der neueren plattentektonischen Vorstellungen als alpinmetamorphe Zeugen einer ozeanischen Kruste der Tethys interpretiert (BEARTH, 1973). Bisher sind von verschiedenen anderen Provenienzen chemische Daten metamorph überprägter Ophiolithe vorgelegt worden, nämlich in chronologischer Folge, unter anderen (siehe Seite 366).

Es fällt auf, dass aus der grossen Zahl möglicher Spurenelemente nur jeweils einige wenige herangezogen werden, um Ähnlichkeiten mit rezenten Gesteinen zu belegen, bzw. anhand von chemischen Analogien die Genese abzuleiten. Dass die Wahl auf Ti, Y, Zr plus allenfalls Sr und Nb gefallen ist, hat zwei Hauptursachen: erstens handelt es sich um wenig mobile Elemente, von denen

Provenienz	Autoren	geochemische Kriterien
Zypern	Pearce & Cann, 1971, 1973 Pearce 1975	Ti, Y, Zr
Tauern	BICKLE & NISBET, 1972	Ti, Y, Zr
Tonga	Ewert & Bryan, 1972	Ti, Zr
Schottland	Wilkinson & Cann, 1974	Ti, Y, Zr; Y/Nb
Appalachen	Kean & Strong, 1975	Ti, Zr
Ital. Alpen	Dal Piaz & Ernst, 1978	AFM
Ligurien	Cortesogno, Galbiati, Principi & Venturelli, 1978	
Iran	Lensch, Nihm & Alavi, 1979	AFM
Tessiner Alpen	Evans & Trommsdorff, 1979	Ti, Y, Zr
Neufundland	UPADHYAY & NEAL, 1979	Ti, Zr
(Publikationen mi	t Originaldaten)	* .

angenommen werden darf, dass sie durch Metamorphose und Verwitterung wenig beeinflusst werden (PEARCE & CANN, 1973), und zweitens sind es Elemente, die als Spuren noch in so hohen Konzentrationen anwesend sind, dass sie mit verhältnismässig einfachen Mitteln hinreichend genau erfasst werden können. Grundsätzlich aber vermöchten Seltene Erden oder gewisse Isotopen ebenfalls wichtige genetische Hinweise zu geben.

Obwohl sich die Verwendung von Spurenelementen als geochemisches Hilfsmittel offensichtlich eingebürgert hat, und dieses Kriterium im folgenden auch angewendet werden soll, seien vorweg einige einschränkende Einwände festgehalten:

- bei allen Vergleichen von metamorphen Gesteinen mit rezenten Vulkaniten müssen statistisch auswertbare Grössen, d.h. unmanipulierte chemische Originaldaten in grösserem Umfang vorliegen; Einzelanalysen haben in der Regel keine Aussagekraft
- der Datenbedarf ist infolgedessen im allgemeinen zu gross, als dass das gesamte Untersuchungsmaterial und Vergleichsmaterial von einem einzigen analytischen Labor erarbeitet werden könnte, vielmehr werden generell Literaturdaten zum Vergleich herangezogen
- die Konsistenz von Daten verschiedener Herkunft wird vorausgesetzt, aber nicht bewiesen
- Informationen über Stichprobengewinnung und -umfang, über Probenaufarbeitung, über Analysenzuverlässigkeit usw. sind unvollständig oder fehlen öfters ganz, so dass sich über die Signifikanz der chemischen Vergleiche nichts Abschliessendes sagen lässt

- die natürlichen chemischen Variationsbreiten rezenter Vulkanite des Meeresbodens – welche die Basis jeder vergleichenden Argumentation bilden – können nicht als im vollen Umfang bekannt gelten, mit überraschenden neuen Daten ist grundsätzlich zu rechnen
- generell sind die Ergebnisse vergleichender Betrachtung in Kategorien der statistischen Wahrscheinlichkeit, und nicht in solchen der absoluten Gültigkeit zu werten.

Chemische Variationen werden zweckmässigerweise entweder direkt graphisch, oder nach mathematischer Verarbeitung der Ausgangsgrössen, z.B. nach einer Diskriminantenanalyse, dargestellt. Die Diskriminantenanalyse versucht, aufgrund gut bekannter Zusammenhänge variable Grössen auf mathematischem Wege so zu verknüpfen, dass (zuvor festgelegte) unterscheidbare Gruppen resultieren: chemische Daten einerseits (etwa die Spurenelemente Ti, Zr, Y, oder Hauptkomponenten), und die Verbreitung dieser Grössen in plattentektonischen Einheiten andererseits (PEARCE & CANN, 1971, 1973, PEARCE, 1976).

Schema		Auftreten	Gesteine	Signatur
	konvergierend	vulk. Inselbogen	Tief-K-Tholeiite Kalk-Alkalibasalte	
Plattenrand				
	divergierend	mittelozeanische Rücken	Tholeiite/ Alkalibasalte	
	ozean. Kruste	ozean. Inseln hot spots	Tholeiite/ Alkalibasalte	·
Platten-Inneres	kontinentale Kruste	kontinentale Vulkanite	Tholeiite/ Alkalibasalte	

Die untersuchten Pillowlaven von Zermatt-Saas erweisen sich aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung mehrheitlich als Gesteine, die einem Platten*rande* zuzuordnen sind, und zwar unabhängig davon, ob Spurenelemente (vgl. Fig. 5), oder Hauptkomponenten (vgl. Fig. 6) als Gruppierungskriterien verwendet werden. In dieser Hinsicht sind die Ergebnisse konsistent. Die Darstellung der Hauptkomponenten nach der Pearce'schen Diskriminantenanalyse (Fig. 6) berücksichtigt die oben diskutierte Kalzitkorrektur. Eine solche führt zu einer Verschiebung der Projektionspunkte aus dem Geiet der kontinentalen/hot spot-Basalte hinaus in jenes der ozeanischen Gesteine, wie sich am Datenmaterial von Vallance (1965) und Oberhänsli (1977) schön zeigen lässt (vgl. Fig. 7).

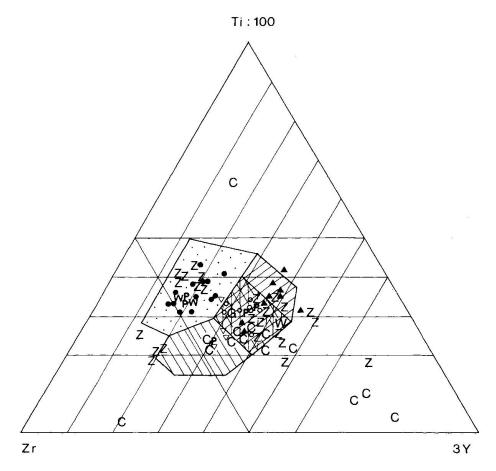


Fig. 5a: Literaturdaten von rezenten und metamorphen Basalten im Pearce'schen Ti-Zr-Y / Dreieck. Rezente nach Pearce, 1973: P = Mittelwerte von Gruppen. Symbole: gefüllte Kreise = Basalte von ozeanischen Inseln und Kontinenten, Feldsignatur gepunktet; offene Kreise = Basalte des Ozeanbodens (mittelozeanische Rücken), Feldsignatur vertikal gestreift; gefüllte Dreiecke = Tief-K-Tholeiite der Inselbogen, Feldsignatur diagonal gestreift; offene Dreiecke = Kalk-Alkalibasalte der Inselbogen, Feldsignatur diagonal gestreift. Metabasalte nach Pearce, 1971. Symbol G (Grossglockner)

WILKINSON & CANN, 1974. Symbol W (Grossbritannien) PEARCE, 1975. Symbol Z (Pillows Zypern) CORTESAGNO et al., 1978. Symbol C (Ligurien)

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die untersuchten Pillows von Zermatt-Saas generell einen hohen Natriumgehalt aufweisen, wobei die Matrix in der Regel Na-ärmer ist als die benachbarten Pillowkörper. Einen ähnlichen, und auch in der Literatur (Vallance, 1965; Bertrand, 1976) belegten Trend zeigen Kern- und Randpartien einzelner Pillowindividuen (vgl. Fig. 8). Im Na₂O/CaO-Diagramm fallen die untersuchten Pillows ohne Kalzitkorrektur zur rund 25%, nach Kalzitkorrektur zu etwa 50% in das Spilitfeld; auf die Problematik des oft hohen Karbonatgehaltes metamorpher Ophiolithe wird kurz eingegangen – weiterführende Studien wären notwendig.

Obwohl die untersuchten Pillowlaven alpinmetamorph überprägt sind, und vor allem die Matrix intensiv verändert worden ist, hat sich der ursprüngliche Chemismus so weit erhalten, dass ein Vergleich mit rezentem Gesteinsmaterial

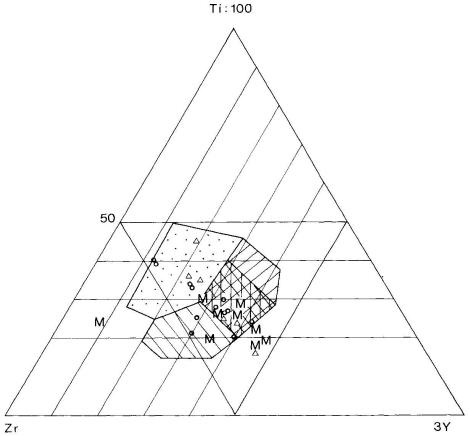


Fig. 5b: Metapillows von Zermatt-Saas im Pearce'schen Ti-Zr-Y / Dreieck Offene Kreise = Kern, Dreiecke = Rand, M = Matrix, Feldsignaturen wie in Fig. 5a

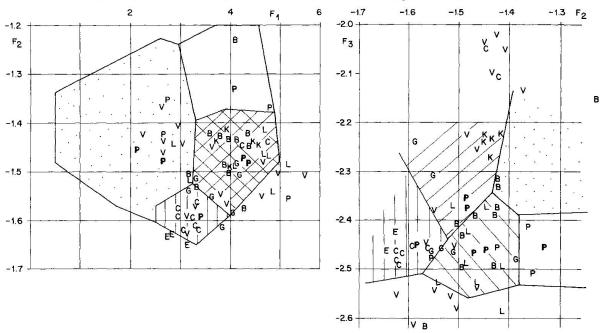


Fig. 6a: Projektionspunkte im Diskriminantenfeld nach PEARCE (1976); Literaturwerte ohne Kalzitkorrektur. Für Signaturen vgl. Fig. 5a.

Für Symbole C, E, L, V, vgl. Fig. 8a: B = nach BERTRAND (1975), Pillows Guatemala

G = nach Cortesogno et al., (1978), Ligurien
P = nach Pearce (1975), Zypern. Fett: Mittelwerte verschiedener Gruppen

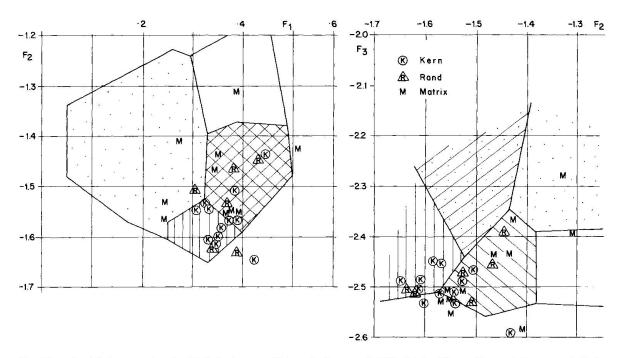


Fig. 6b: Projektionspunkte im Diskriminantenfeld nach PEARCE (1976); Metapillows Zermatt-Saas, nach Kalzitkorrektur

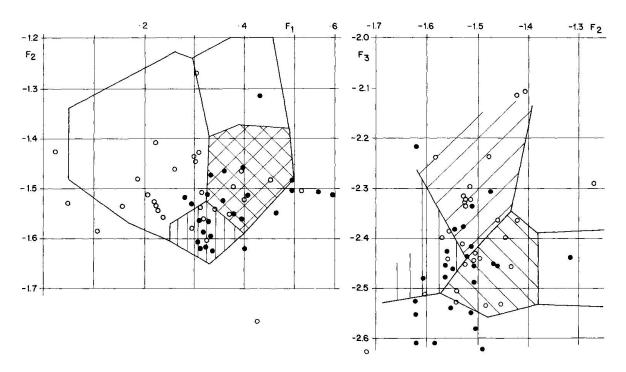


Fig. 7: Projektionspunkte im Diskriminantenfeld nach Pearce (1976); Literaturwerte nach Vallance (1965) und Oberhänsli (1977): Originalwerte ohne Kalzitkorrektur = offene Kreise, nach Kalzitkorrektur = gefüllte Kreise. Für Signaturen vgl. Fig. 5a. Bemerkenswert ist das fast vollständige Verschwinden «kontinentaler» Basaltschemismen nach der Kalzitkorrektur im F_1/F_2 -Feld!

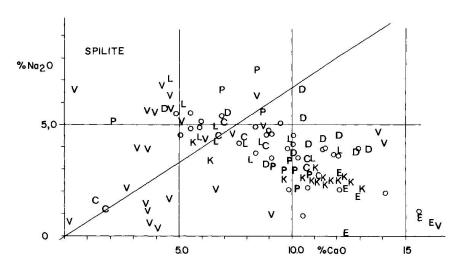


Fig. 8a: Projektionspunkte im Na / Ca-Diagramm. Metapillows Zermatt-Saas = Kreise; Literaturwerte V nach Vallance, 1965 (Grossbritannien)

C nach CANN, 1969 (Mittelozeanische Rücken, Carlsberg Ridge)

K nach Kay et al., 1970 (Mittelozeanische Rücken)

P nach BEARTH et al., 1971 (Zermatt-Saas)

D nach DAL PIAZ et al., 1978 (Piemont)

E nach Evans et al., 1979 (Cima di Gagnone)

L nach LEUSCH et al., 1979 (Iran)

Keine Kalzitkorrektur

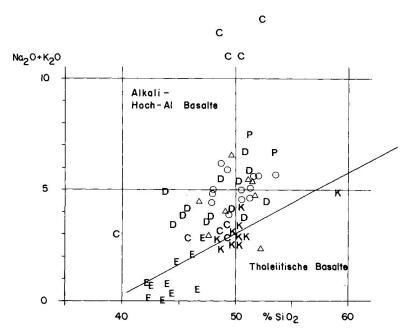


Fig. 8b: Projektionspunkte im Alkali-Si Diagramm. Metapillows Zermatt-Saas = Kreise (Pillowkern), Dreiecke (Pillowrand) Literaturwerte siehe Legende Fig. 8a Keine Kalzitkorrektur

bekannter Herkunft und Genese eine klare chemische Verwandtschaft mit ozeanischen Vulkaniten belegt, mit Förderprodukten, wie sie von Rändern tektonischer Platten bekannt sind. Die geochemischen Befunde stützen damit die früher gemachte Aussage (Bearth, 1973), dass es sich bei den Ophiolithen von Zermatt-Saas um Gesteine der ozeanischen Kruste der Tethys handelt.

Verdankungen

Die Autoren sind dem Schweizerischen Nationalfonds für die Zusprache eines Beitrages (Nr. 2539-076) verpflichtet. Ferner danken sie den Herren Fischer und Meyer für die Durchführung der Kernbohrungen, Herrn Brugger für die Reinzeichnung der Figuren, sowie dem Kollegen Prof. Frey für kritische Durchsicht des Manuskriptes und anregende Diskussion.

Bibliographie

SMPM = Schweiz. Mineral. petrogr. Mitt.

- BEARTH, P., 1959: Über Eklogite, Glaukophanschiefer und metamorphe Pillowlaven. SMPM 39, 767
- BEARTH, P., 1962: Versuch einer Gliederung alpin-metamorpher Serien der Westalpen. SMPM 42, 127
- BEARTH, P., 1967: Die Ophiolithe der Zone von Zermatt-Saas Fee. Beitr. Geol. Karte der Schweiz, Neue Folge, 132. Lieferung
- BEARTH, P., 1973: Gesteins- und Mineralparagenesen aus den Ophiolithen von Zermatt. SMPM 53, 299
- BEARTH, P., 1974: Zur Gliederung und Metamorphose der Ophiolithe der Westalpen. SMPM 54, 385
- BEARTH, P., 1976: Zur Gliederung der Bündnerschiefer in der Region von Zermatt. Ecl. Geol. Helv. 69, 149
- BEARTH, P., & STERN, W., 1971: Zum Chemismus der Eklogite und Glaucophanite von Zermatt. SMPM 51, 349
- BERTRAND, J., & VUAGNAT, M., 1975: Sur la présence de basalte en coussins dans la zone ophiolitique méridionale de la Cordillère Centrale du Guatémala. SMPM 55, 136
- BERTRAND, J., & VUAGNAT, M., 1976: Etude pétrographique de diverses metabasites ophiolitiques du Guatémala et de leurs inclusions. SMPM 56, 527
- BICKLE, M.J., NISBET, E., 1972: The oceanic affinities of some alpine mafic rocks based on their Ti-Zr-Y contents. J. geol. Soc. 128, 267
- CORTESOGNO, L., GALBIATI, B., PRINCIPI, G., & VENTURELLI, G., 1978: Le brecce ofiolitiche della Liguria orientale: nuovi dati e discussione sui modelli paleogeografici. Ofioliti 3, 99
- Church, W.R., & Coish, R.A., 1976: Oceanci versus island arc origin of ophiolites. Earth Planet. Sc. L. 31, 8
- DAL PIAZ, G.V., & ERNST, W.G., 1978: Areal Geology and Petrology of Eclogites and Associated Metabasites of the Piemonte Ophiolite Nappe, Breuil-St. Jacques, Italian Western Alps. Textonophys. 51, 99
- ERNST, W.G., & DAL PIAZ, G.V. 1978: Mineral parageneses of eclogitic rocks and related mafic schists of the Piemontese ophiolitic nappe, Breuil-St. Jacques area, Italian Alps. Amer. Miner. 63, 62

- EVANS, B.W. & TROMMSDORFF, V., 1979: Petrology of an eclogite-metarodingite suite at Cima di Gagnone, Ticino, Switzerland. Am. Mineral. 64, 15
- EWART, A., & BRYAN, W.B., 1972: Petrography and Geochemistry of the Igneous Rocks from Eua, Tongan Islands. Geol. Soc. Amer. Bull. 83, 3281
- FRY, N., & FIFE, W.S., 1971: On the significance of the eclogitic facies in alpine metamorphism. Verh. Geol. Bundesanstalt (Wien) 2, 257
- HSü, K.J., 1979: Thin-skinned plate tectonic during neo-alpine orogenesis. Amer. J. Sc. 279, 353
- IRVINE, T.N., & BARAGAR, W.R., 1971: A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Canad. J. Earth Sc. 8, 523
- KAY, R., HUBBARD, N.J., & GAST, P.W., 1970: Chemical Characteristics and Origin of Oceanic Ridge Volcanic Rocks. J. geophys. Res. 75, 1585
- KEAN, B.F. & STRONG, D.F., 1975: Geochemical evolution of ordovician island arc of the central Newfoundland Appalachians. Amer. J. Sc. 275, 97
- LENSCH, G., NIHM, A., & ALAVI-TEHRANI, N., 1979: Major element geochemistry of the ophiolites north of Sabzevar (Iran). N. Jb. Geol Paläont. Mh. 7,415
- LIOU, J.G., & ERNST, W.G., 1979: Oceanic Ridge Metamorphism of the East Taiwan Ophiolites. Contr. Mineral. Petrol. 68, 335
- NESBIT, R. W. & SUN, S. S., 1976: Geochemistry of Archaean Spinifex-textured Peridotites and Magnesian and Low-magnesian Tholeites. Earth Planet. Sc. L. 31, 433
- NORMAN, R. E. & STRONG, D. F., 1975: The Geology and Geochemistry of ophiolitic Rocks Exposed at Ming's Bight, Newfoundland. Canad. J. Earth Sc. 12,777
- OBERHÄNSLI, R., 1977: Natriumamphibol-führende metamorphe basische Gesteine aus den Bündnerschiefern Graubündens. Diss ETH Zürich
- OBERHÄNSLI, R., 1978: Chemische Untersuchungen an Glaukophan-führenden basischen Gesteinen aus den Bündnerschiefern Graubündens. SMPM 58, 139
- Pearce, J.A., 1975: Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus. Textonophys. 25, 41
- PEARCE, J. A., 1976: Statistical Analyses of Major Element Patterns in Basalts. J. Petrol. 17, 15
- PEARCE, J. A., & CANN, J. R., 1971: Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr, Y. Earth Planet. Sc. L. 12, 339
- PEARCE, J. A., 1973: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. Earth Planet. Sc. L. 19, 290
- SCHROLL, E., 1975: Analytische Geochemie. 2 Bde, Stuttgart
- STERN, W.B., 1979: Probleme der quantitativen röntgenspektrometrischen Analyse von Hauptkomponenten und Spuren in geologischen Proben. SMPM 59, 83
- UPADHYAY, H. D., & NEALE, E. R. W., 1979: On the tectonic regimes of ophiolitic genesis. Earth Planet. Sc. L. 43, 93
- Vallance, T.G., 1965: On the chemistry of pillow lavas and the origin of spilites. Mineral. Mag. 34,
- WILKINSON, J.M. & CANN, J.R., 1974: Trace elements and tectonic relationships of basaltic rocks in the Ballantrae igneous complex, Ayrshire. Geol. Mag. 111, 35

Manuskript eingegangen am 30. November 1979