Zur Geochemie von Metapillows der Region Zermatt-Saas

Autor(en): **Bearth, P. / Stern, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **59 (1979)**

Heft 3

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-46070

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 59, 349–373, 1979

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 Eindrücklichkeit [1]). 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.

---

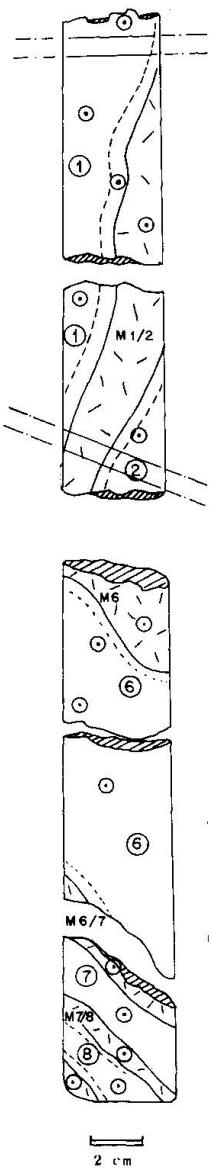
[2]) Ursprünglich als Lokalname gedacht, wurde diese Bezeichnung von G. V. DAL PIAZ später auf den ganzen internen Ophiolithbogen der Westalpen ausgedehnt.

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



PVB 1730 Mattmark		
Pillowkern 1 Präparate	XV 3681,	IX 3908
Dünnschliffplatte		
Pillowkern 1	3684	3909
Pillowrand 1	3686	3910
Matrix zwischen Pillow 1 und 2	3689	3911
Pillowkern 1	3688	3912
Pillowkern 2	3691/92	3913
Dünnschliffplatte		
PVB 1724 Täschtal		
Matrix	3663/64	3914
Pillowkern 6	3666	3915
Pillowkern 6	3667/68	3916
Pillowkern 6	3670	3917
Matrix zwischen Pillow 6 und 7	3671/72	3918
Pillowkern 7	3674	3919
Matrix zwischen Pillow 7 und 8	3675/76	3920
Pillow 8	3678	3921
Matrix + Pillowrand 8	3679/80	3922

Tab. I Analysendaten

MATTMARK

PVB	1730-1	1730-3a	1730-3b	1730-4	1730-7	1730-9	1729-1.1	1729-2.2	1729-2.3	1720-2.4	1729-2.5
Pillow Nr.	1 verw.	1 Kern	1 Rand	M 1/2	1 Kern	2 Kern+Rd.	3 Kern	3Rd.+M3/4	4 Kern+Rd.	M 4/5	5 Kern
XV	3681	3684	3686	3689	3688	3691	3990	3992	3993	3996	3998
IX	3908	3909	3910	3911	3912	3913	3975	3976	3977	3978	3979
Hauptkomponenten Wt-%											
SiO_2	47.9	48.2	46.9	33.0	48.0	49.4	50.4	49.8	51.7	46.3	48.5
Al_2O_3	15.8	14.4	16.0	15.2	14.7	14.3	12.5	23.0	14.5	19.8	16.9
Fe_2O_3	3.4	3.4	3.4	3.2	3.1	3.5	4.9	3.0	4.6	3.6	12.7
FeO	5.5	5.2	6.1	5.6	6.3	5.0	4.8	4.2	6.6	3.8	4.9
MnO	.13	.12	.16	.15	.15	.11	.10	.16	.24	.13	.15
MgO	5.6	7.1	6.0	7.7	6.8	6.7	9.4	4.1	7.6	4.1	7.4
CaO	11.4	10.1	10.2	15.6	9.8	9.1	7.7	5.9	5.1	8.4	5.5
Na_2O	3.8	4.2	3.5	1.2	3.8	4.6	4.2	4.8	4.5	3.7	4.8
K_2O	.59	.76	1.09	1.61	.95	1.34	.49	.19	.90	1.25	1.86
TiO_2	1.83	2.02	1.53	2.00	1.48	2.09	1.60	1.88	2.11	3.33	1.78
P_2O_5	.34	.13	.37	.31	.28	.17	.22	.45	.14	.41	.53
H_2O	1.1	1.8	1.4	2.8	1.6	1.3	1.6	.8	1.1	1.9	1.5
CO_2	1.8	2.4	2.9	10.9	2.9	2.0	1.3	nb	.7	2.5	3.5
Summe	99.19	99.83	99.55	99.27	99.86	99.61	99.21	99.99	99.98	99.22	100.02
Niggli-Werte											
al	22.6	20.4	22.8	19.2	20.9	20.8	17.6	35.9	21.6	31.4	25.5
fm	37.89	42.43	40.64	40.15	43.23	41.83	52.14	31.82	51.98	32.58	44.34
c	29.64	26.10	26.53	35.90	25.41	24.14	19.73	16.74	13.84	24.21	15.11
alk	9.85	10.98	9.92	4.70	10.38	13.15	10.48	15.53	12.50	11.79	14.97
si	116.3	116.3	113.9	70.9	116.2	122.3	120.6	131.9	131.0	124.6	124.4
ti	3.34	3.66	2.79	3.23	2.69	3.89	2.87	3.74	4.02	6.73	3.43
p	.34	.13	.38	.28	.28	.17	.22	.50	.15	.46	.57
w	.35	.37	.33	.33	.30	.38	.47	.39	.38	.46	.33
k	.09	.10	.17	.46	.14	.16	.07	.20	.11	.18	.20
mg	.53	.60	.53	.61	.56	.59	.64	.50	.55	.50	.63

Kationen-%											
Si	46.0	46.2	45.5	35.6	46.3	46.9	47.8	45.7	48.6	45.2	46.1
Al^{+3}	17.88	16.26	18.29	19.37	16.72	16.01	13.98	24.92	16.07	22.79	18.95
Fe^{+3}	2.45	2.45	2.48	2.60	2.25	2.50	3.50	2.07	3.25	2.64	1.93
Fe^{+2}	4.41	4.16	4.94	5.06	5.08	3.97	3.81	3.22	5.18	3.10	3.89
Mn	.10	.09	.13	.13	.12	.08	.08	.12	.19	.10	.12
Mg	8.01	10.13	8.67	12.40	9.77	9.48	13.29	5.61	10.64	5.96	10.49
Ca	11.72	10.37	10.60	18.07	10.13	9.26	7.83	5.81	5.13	8.79	5.60
Na	7.07	7.80	6.58	2.51	7.10	8.47	7.72	8.55	8.20	7.00	8.55
K	.72	.92	1.34	2.22	1.16	1.62	5.59	2.22	1.07	1.55	2.55
Ti	1.32	1.45	1.11	1.62	1.07	1.49	1.14	1.29	1.49	2.44	1.27
P	.27	.10	.30	.28	.22	.13	.17	.35	.11	.33	.42
Summe	100.00	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	99.99	99.99	100.00	100.00

Spurenelemente, ppm											
S	<50	150	<50	1100	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Cl	<20	20	<20	<20	<20	100	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	55	45	55	70	55	45	45	25	45	60	35
Ti	10950	12100	9150	12000	8850	12550	9600	11250	12650	19950	10650
Cr	130	115	100	105	90	115	95	105	110	150	85
Co	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Ni	130	135	125	135	145	160	190	80	180	130	90
Cu	65	70	80	105	105	100	75	70	65	210	55
Zn	200	210	195	175	210	200	205	145	260	140	195
Rb	25	20	30	30	25	30	20	35	25	25	45
Sr	265	220	190	415	165	115	100	215	95	375	125
Y	30	15	30	40	25	15	35	30	45	55	15
Zr	160	155	145	175	125	145	185	170	195	305	155
Nb	40	50	50	85	40	35	35	40	30	80	35
Ba	230	270	230	285	205	270	340	390	365	625	355
Pb							125	120	155	125	125

Rubrik PVB: Feld-Probenbezeichnung, vgl. Schema Fig. 1
Pillow Nr.: Die einzelnen Pillowindividuen sind fortlaufend numeriert, Angabe von Kern, Rand
XV: Labornumerierung der RF-Schmelzpräparate (Hauptkomponente)
IX: " " RF-Presslinge (Spurenelemente)

Tab. I

TÄSCHTAL

PVB	1724-a2	1724-a3	1724-a5	1724-b7	1724-C12	1724-C13	1724-C14	1724-C15	1724-C16
Pillow Nr.	M/6	6 Rand	6 Kern	6 Kern	M/7	7 Kern+Rd.	M 7/8	8 Kern	8Rd.+Matrix
XV	3663	3666	3667	3670	3671	3674	3675	3678	3679
IX	3914	3915	3916	3917	3918	3919	3920	3921	3922
Hauptkomponenten Wt-%									
SiO_2	39.5	51.2	50.7	50.7	40.7	51.7	47.8	53.6	46.2
Al_2O_3	16.7	15.0	15.3	15.5	18.6	13.2	17.2	12.3	18.3
Fe_2O_3	3.0	2.8	3.6	4.0	2.9	3.6	4.0	3.8	3.8
FeO	5.7	6.2	5.8	4.8	4.2	5.7	5.0	5.8	5.5
MnO	.20	.15	.17	.13	.15	.14	.14	.12	.14
MgO	7.1	7.6	6.9	7.1	6.1	9.0	5.0	9.6	4.3
CaO	11.9	6.9	8.8	8.4	12.9	5.5	11.5	4.9	12.1
Na_2O	3.7	5.3	4.5	4.9	3.9	5.5	3.9	5.5	3.6
K_2O	.33	.13	.10	.11	.28	.23	.33	.21	.42
TiO_2	1.77	1.66	1.70	1.40	1.28	1.47	2.47	1.19	2.47
P_2O_5	.25	.29	.38	.30	.49	.16	.39	.12	.31
H_2O	2.9	2.0	1.6	1.5	2.7	1.7	1.3	1.0	1.5
CO_2	6.7	.2	.2	.4	5.7	1.3	.7	1.1	.9
Summe	99.75	99.43	99.65	99.33	99.90	99.20	99.73	99.24	99.54
Niggli-Werte									
al	22.28	21.99	22.07	22.46	25.11	19.37	24.59	18.08	25.99
fm	40.24	46.63	44.02	43.55	34.15	52.31	35.81	55.18	33.70
c	28.86	18.39	23.07	22.12	31.65	14.67	29.89	13.07	31.24
alk	8.59	12.98	10.83	11.84	9.06	13.63	9.68	13.63	9.05
si	89.4	127.4	124.1	124.7	93.2	128.7	116.0	133.7	111.3
ti	3.01	3.10	3.12	2.75	2.20	2.75	4.50	2.23	4.47
p	.23	.30	.39	.31	.47	.16	.40	.12	.31
w	.32	.28	.35	.42	.38	.36	.41	.37	.38
k	.05	.01	.01	.01	.04	.02	.05	.02	.07
mg	.59	.60	.57	.59	.60	.63	.50	.64	.45

Kationen-%									
Si	39.9	47.8	47.5	47.5	40.4	48.6	45.3	49.9	44.2
Al	19.9	16.5	16.9	17.1	21.7	14.6	19.2	13.4	20.6
Fe^{+3}	2.28	1.96	2.54	2.82	2.16	2.54	2.85	2.66	2.73
Fe^{+2}	4.82	4.84	4.54	3.76	3.48	4.48	3.96	4.51	4.40
Mn	.17	.11	.13	.10	.12	.11	.11	.09	.11
Mg	10.70	10.58	9.64	9.91	9.02	12.60	7.07	13.31	6.13
Ca	12.89	6.91	8.84	8.43	13.72	5.53	11.69	4.88	12.42
Na	7.25	9.60	8.18	8.90	7.50	10.02	7.17	9.92	6.68
K	.42	.15	.11	.13	.35	.27	.39	.24	.51
Ti	1.34	1.16	1.19	1.04	.95	1.03	1.76	.83	1.77
P	.21	.22	.30	.23	.41	.12	.31	.09	.25
Summe	99.99	99.99	99.99	100.00	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99

Spurenelemente, ppm									
S	700	< 50	< 50	270	790	200	1000	< 50	2000
Cl	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	80	< 20
Sc	60	50	50	45	50	30	70	30	75
Ti	10600	9950	10200	8400	7650	8800	14800	7150	14800
Cr	185	180	205	175	145	140	260	150	250
Co	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Ni	140	160	170	170	145	125	145	220	135
Cu	120	100	95	85	135	85	115	75	95
Zn	155	185	175	185	135	225	155	205	140
Rb	15	15	5	15	10	15	15	10	15
Sr	200	140	180	180	285	50	300	100	335
Y	25	15	30	15	25	5	50	5	50
Zr	145	115	130	110	110	70	180	90	190
Nb	40	30	20	35	40	70	60	20	60
Ba	285	200	245	245	190	150	340	180	390

Tab.I

TASCHTAL

PVB	1726-1.1	1726-1.2	1726-2.2a	1726-2.2b	1726-2.3	1726-3.1	1727-1.2	1727-1.3	1727-2.1	1727-2.2
Pillow Nr.	9 Kern	9Rd+M9/10	M 9/10	10 Rand	10 Kern	M 9/10	M/11	11 Kern	11Rd+11/12	12 Kern
XV	3969	3972	3973	3976	3977	3980	3981	3983	3986	3987
IX	3968	3969	3970	3971	3972	3973	3980	3981	3982	3974
Hauptkomponenten Wt-%										
SiO_2	51.5	51.8	60.9	52.3	51.3	57.8	47.2	49.4	47.5	52.0
Al_2O_3	15.4	16.1	6.8	17.9	16.4	13.5	19.8	13.8	18.8	15.0
Fe_2O_3	4.0	3.6	.8	3.8	3.6	2.6	3.5	2.3	3.3	2.1
FeO	4.2	4.7	2.7	5.1	3.4	3.5	5.0	7.4	6.0	6.7
MnO	.18	.18	.09	.25	.14	.16	.14	.22	.18	.15
MgO	4.1	3.7	4.7	2.1	3.5	2.8	3.5	8.1	4.8	6.2
CaO	9.5	9.2	10.5	10.7	10.1	9.8	14.2	9.1	12.2	6.0
Na_2O	5.1	4.6	.9	.2	4.5	2.1	1.9	3.5	2.1	5.2
K_2O	.10	.11	.04	.12	.13	.10	.44	.44	.99	.46
TiO_2	1.87	1.94	.45	1.49	2.11	1.16	1.35	1.65	1.50	1.88
P_2O_5	.40	.39	.36	.38	.41	.37	.42	.11	.30	.36
H_2O	1.0	.9	1.2	1.8	1.7	2.2	1.4	1.6	1.6	4.1
CO_2	2.2	2.3	10.3	1.5	2.2	3.1	.7	2.4	.7	nb
Summe	99.55	99.52	99.74	99.64	99.49	99.19	99.55	100.02	99.97	100.15
Niggli-Werte										
al	24.5	26.2	15.3	30.4	26.9	26.7	28.3	19.4	26.6	23.7
fm	34.51	34.01	38.09	30.17	30.39	30.89	29.52	48.34	35.57	44.54
c	27.47	27.24	43.10	33.04	30.21	35.29	36.96	23.36	31.40	17.30
alk	13.51	12.51	3.44	6.36	12.40	7.05	5.15	8.80	6.40	14.35
si	139.0	143.2	233.4	150.8	143.2	194.3	114.7	118.4	114.1	140.0
ti	3.79	4.03	1.29	3.22	4.42	2.93	2.46	2.97	2.70	3.80
p	.45	.45	.58	.46	.48	.52	.43	.11	.30	.41
w	.46	.40	.21	.40	.48	.40	.38	.21	.33	.21
k	.01	.01	.02	.03	.01	.03	.13	.07	.23	.05
mg	.47	.44	.70	.29	.47	.45	.42	.59	.48	.55

Kationen-%										
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^{+3}	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	.08	.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
K	.12	.13	.05	.15	.16	.12	.54	.53	1.21	.55
Ti	1.34	1.40	.36	1.10	1.53	.88	.98	1.18	1.08	1.34
P	.32	.31	.32	.31	.33	.31	.34	.08	.24	.29
Summe	99.99	100.00	99.99	100.00	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00
Spurenelemente, ppm										
S	<50	<50	195	490	<50	<50	<50	290	<50	3800
Cl	<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	9900	9000	11250
Cr	90	95	40	75	100	55	170	165	160	160
Co	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Ni	115	120	70	85	105	70	170	170	115	160
Cu	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	5	10	5	10	15	5
Sr	385	430	485	850	585	725	410	120	260	65
Y	20	40	10	50	25	35	35	25	30	5
Zr	245	265	75	200	235	155	145	145	145	135
Nb	50	40	15	35	50	40	50	40	45	35
Ba	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:

SiO_2, Fe_2O_3 total, CaO, TiO_2	1 bis 2% rel.	je nach Konzentrationsbereich
Al_2O_3, MgO, MnO, K_2O, Na_2O, P_2O_5, FeO, CO_2	2 bis 5% rel.	
Spurenelemente	5 bis 10% rel.	

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 CO_2-Konzentrationen in Metabasalten (vgl. auch LENSCH et al., 1979). Gerade in der neueren Literatur fehlen oft Angaben über den CO_2-Gehalt, aber die teilweise hohen Glühverlust-, bzw. Wasserwerte legen den Verdacht nahe, dass CO_2 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	
N	14		6		10	
	x	v (%)	x	v (%)	x	v (%)
A. Unkorrigierte Werte						
SiO_2	50.2	3.4	50.6	4.0	46.7	17.5
Al_2O_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_2O	4.5	12.7	4.3	29.0	2.7	43.7
K_2O	.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-korrigierte 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_2O	4.7	12.1	4.5	28.1	3.0	42.4
K_2O	.64	88.2	.60	122.6	.66	99.2
TiO_2	1.85	15.9	1.72	12.1	1.95	44.4
H_2O	1.5	15.5	1.7	25.4	2.2	44.1

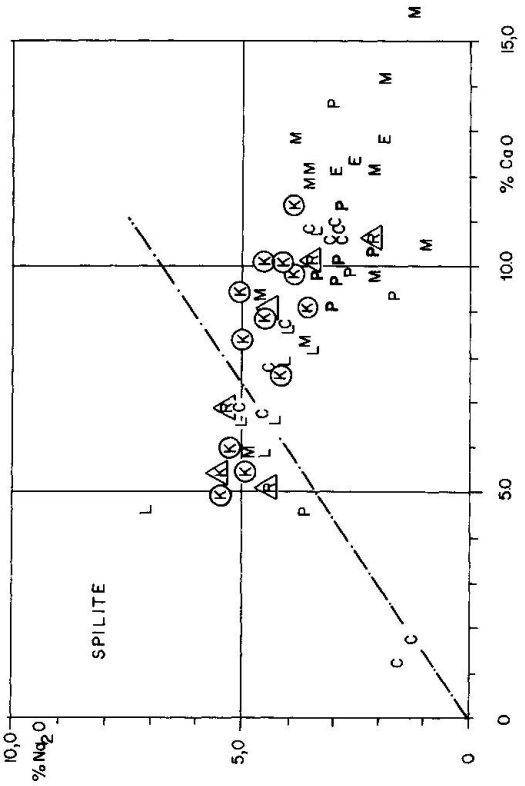


Fig. 2c

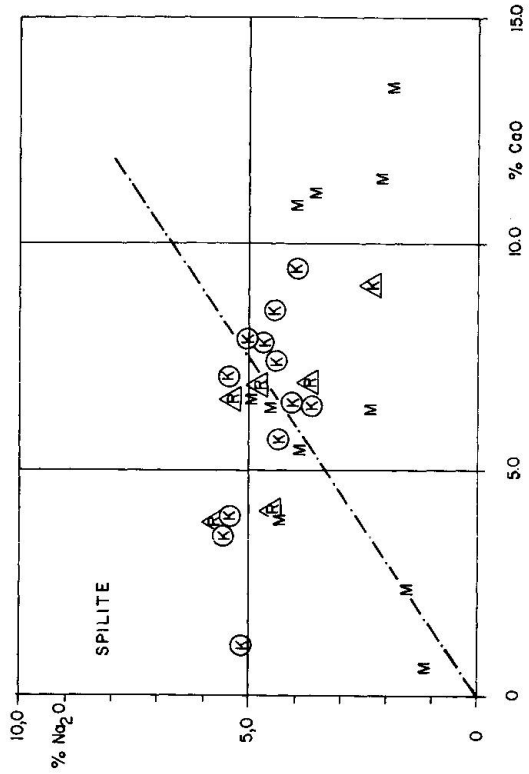


Fig. 2d

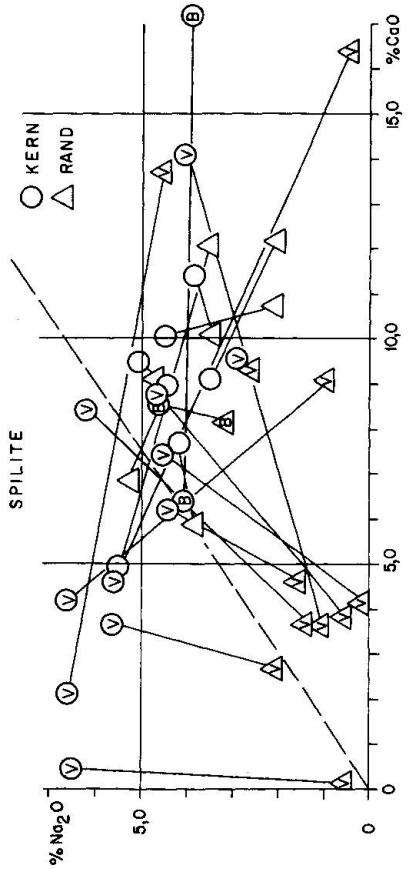


Fig. 2a

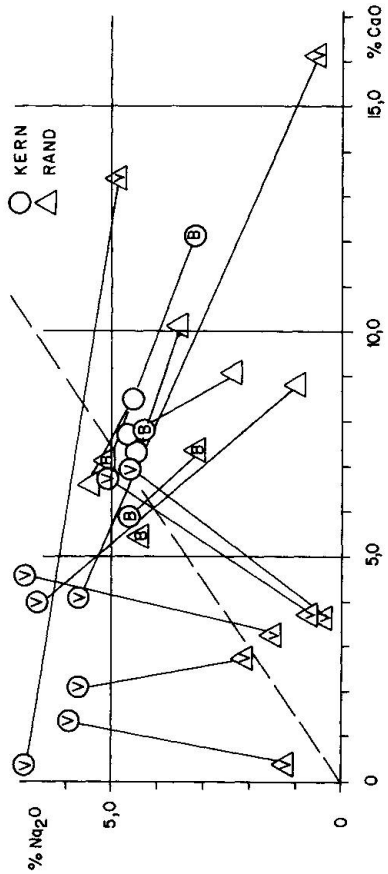


Fig. 2b

Fig. 2: Projektionen in das Na_2O / CaO-Diagramm
Kreise: Pillowkern Dreiecke: Pillowrand M: Matrix
a. Literaturwerte ohne Kalzitkorrektur B nach BERTRAND (1976) V nach VALANCE (1965)
b. Literaturwerte nach Kalzitkorrektur offene Symbole: eigene Werte
c. ohne Kalzitkorrektur: alle eigene, + ausgewählte Literaturwerte (vgl. S. 00)
d. nach Kalzitkorrektur: eigene Werte

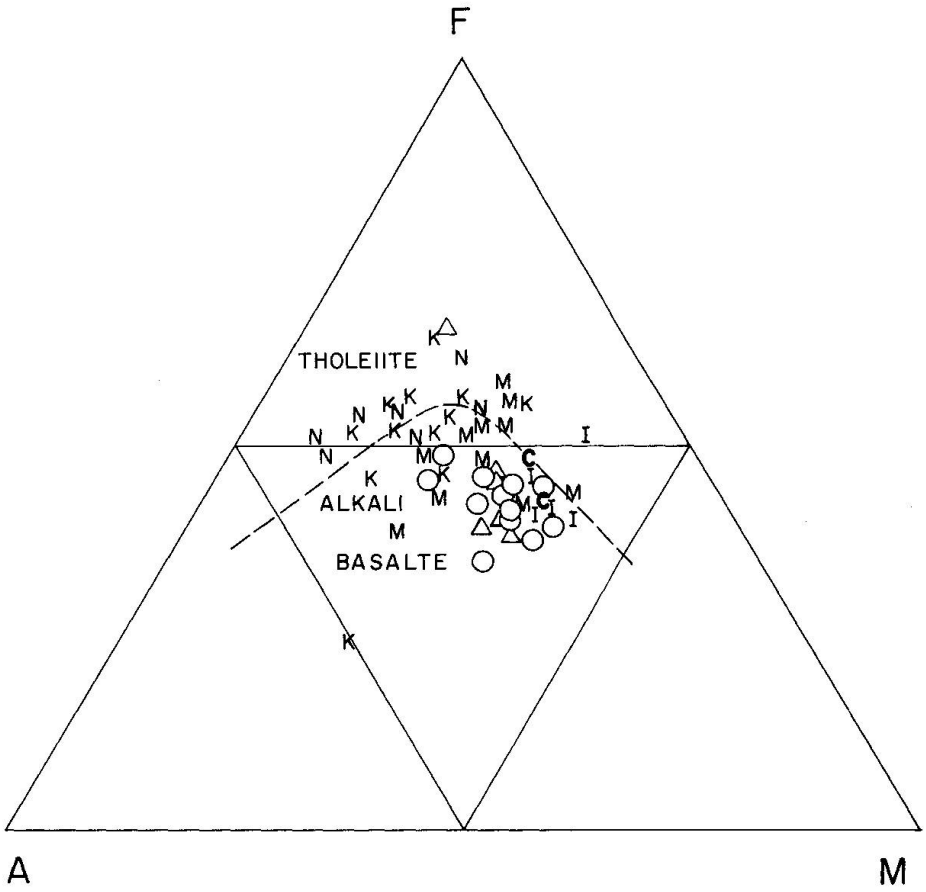


Fig. 2e: Projektion in das AFM-Dreieck, kalzitkorrigierte Werte
A = wt-% Na_2O/ + K_2O, f = wt-% FeO total, M = wt-% MgO
Literaturpunkte: C Pillows Zypern nach PEARCE (1975)
I Tief-K-Tholeiite der mittelatlantischen Rücken, nach IRVINE & BARAGAR (1971)
K Pillows der Appalachen, nach KEAN & STRONG (1975)
N Pillows aus Neufundland, nach NORMAN & STRONG (1975)

lich CO_2 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 CO_2, 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

CO_2-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 Al_2O_3 und TiO_2, sowie eine Abnahme von MgO und Na_2O feststellbar; SiO_2, $FeO_{tot.}$, MnO und K_2O 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 K_2O. Entsprechend zeigt die Projektion der Analysen mit den Quotienten aus SiO_2 und Al_2O_3 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-

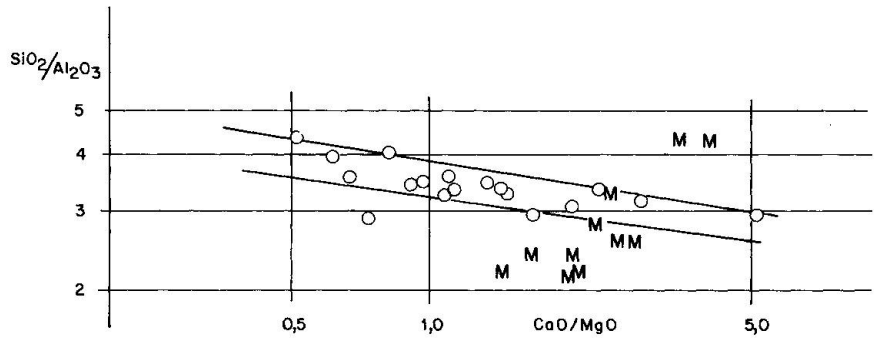


Fig. 3a

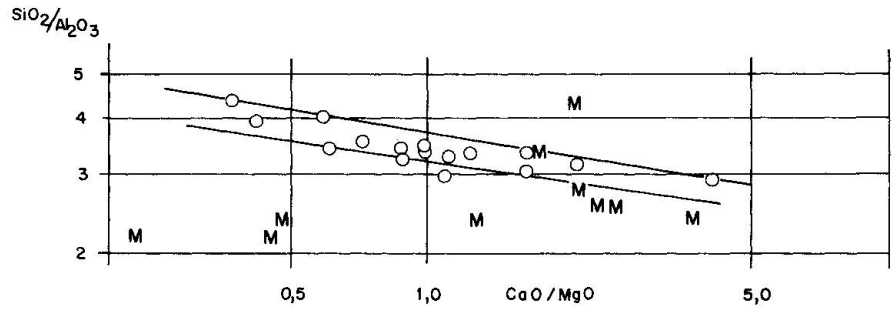


Fig. 3b

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,

Tab. III: statistisch belegbarer Unterschied im Spurengehalt verschiedener Pillowindividuen

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. unten		>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

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).

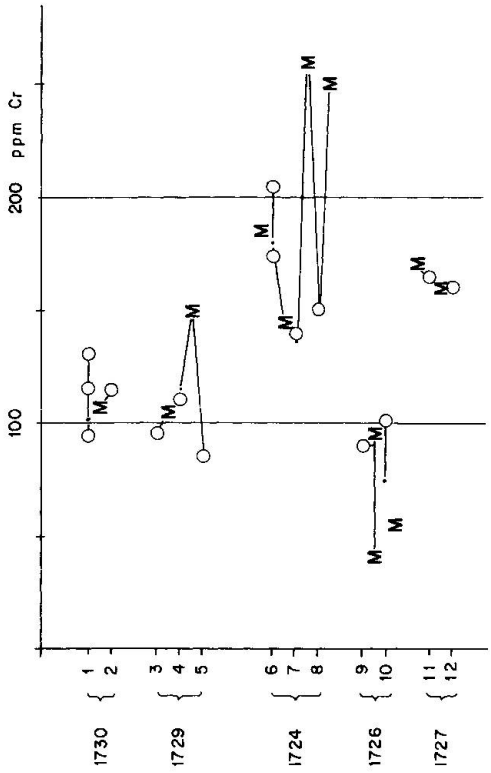


Fig. 4c

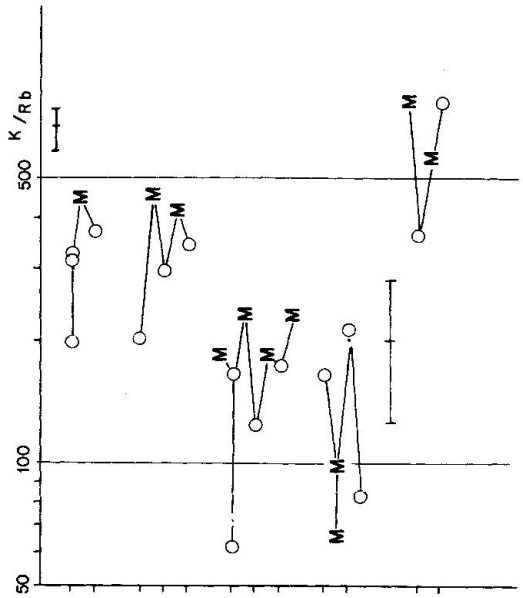


Fig. 4d

a. Matrix spurenreicher als Pillow
b. Matrix spurenärmer als Pillow
c. Sprenggehalt von Matrix und Pillow ähnlich, aber von Individuum zu Individuum verschieden
d. Variation liegt innerhalb des Fehlerbereiches (Fehlerkreuz!)

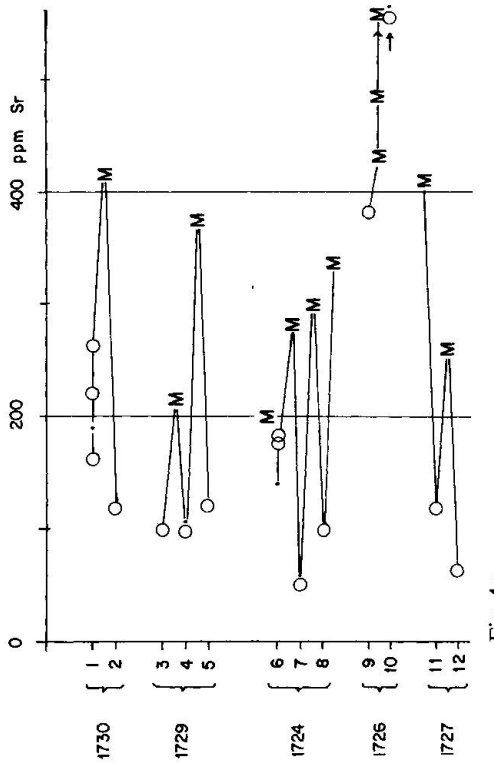


Fig. 4a

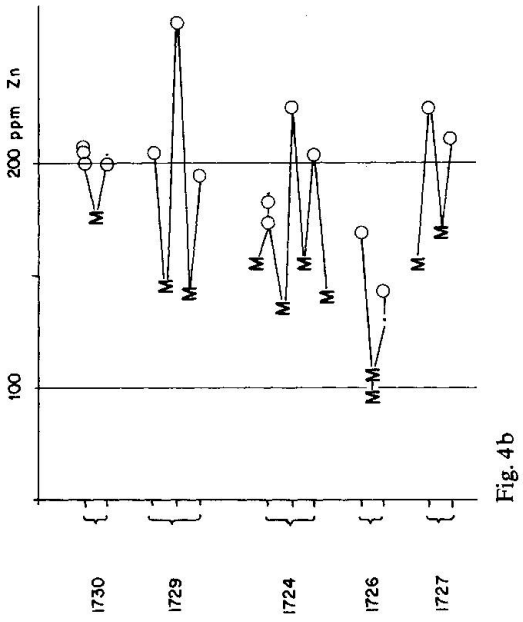


Fig. 4b

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

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 (cm^3, dm^3) 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 mit 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
Plattenrand	konvergierend	vulk. Inselbogen	Tief-K-Tholeiite Kalk-Alkalibasalte	
	divergierend	mittelozeanische Rücken	Tholeiite/ Alkalibasalte	
Platten-Inneres	ozean. Kruste	ozean. Inseln hot spots	Tholeiite/ Alkalibasalte	
	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).

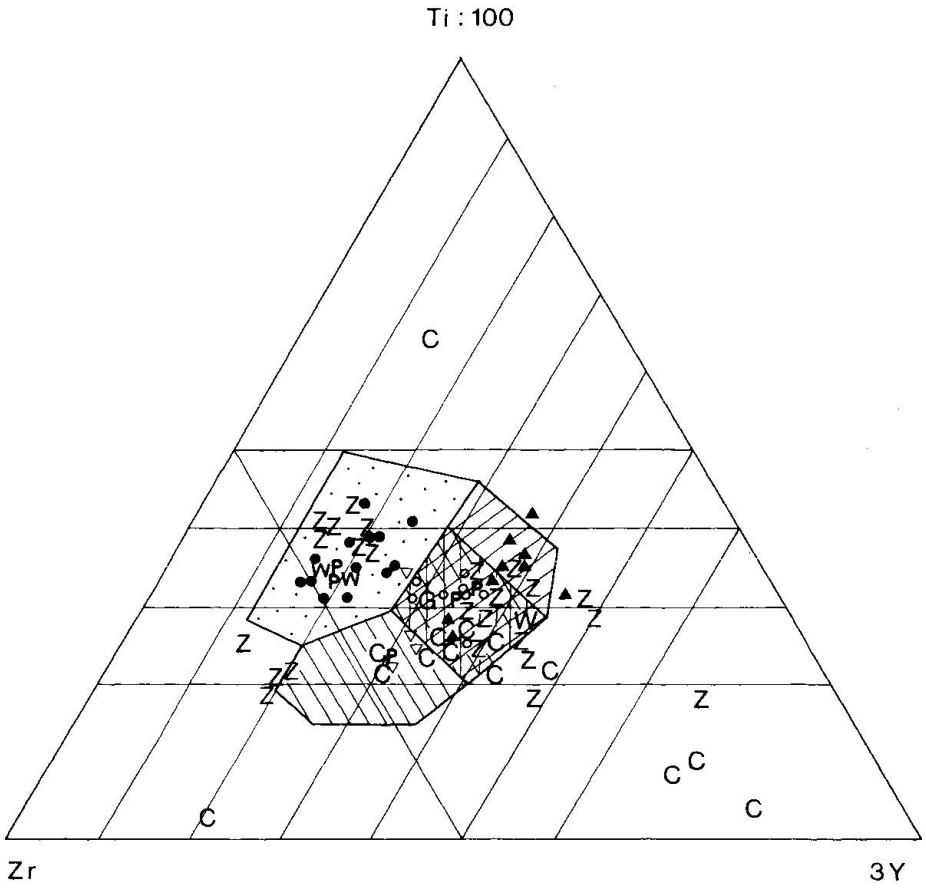


Fig. 5a: Literaturdaten von rezenten und metamorphen Basalten im Pearce'schen Ti-Zr-Y / Dreieck. Rezente nach PEARCE, 1973: P = Mittelwerte von Gruppen. Symbole: gefüllte Kreise = Basalte von ozeanischen Inseln und Kontinenten, Feldsignatur gepunktet; offene Kreise = Basalte des Ozeanbodens (mittelozeanische 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 Na_2O/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

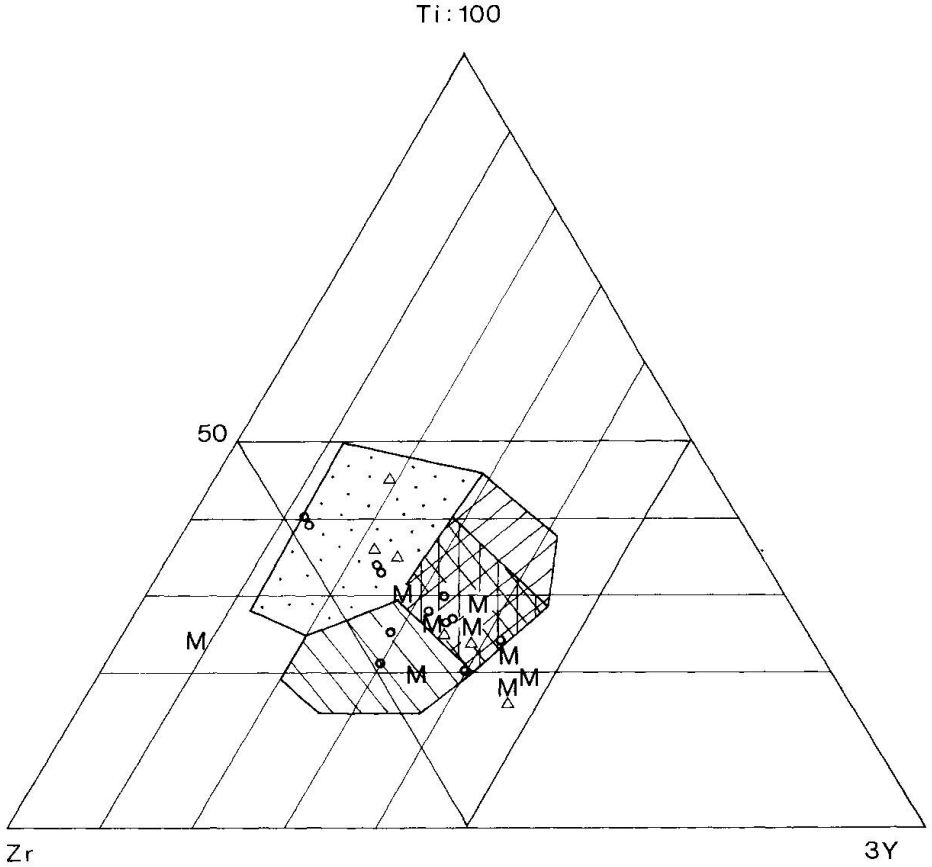


Fig. 5b: Metapillows von Zermatt-Saas im Pearce'schen Ti-Zr-Y / Dreieck
Offene Kreise = Kern, Dreiecke = Rand, M = Matrix, Feldsignaturen wie in Fig. 5a

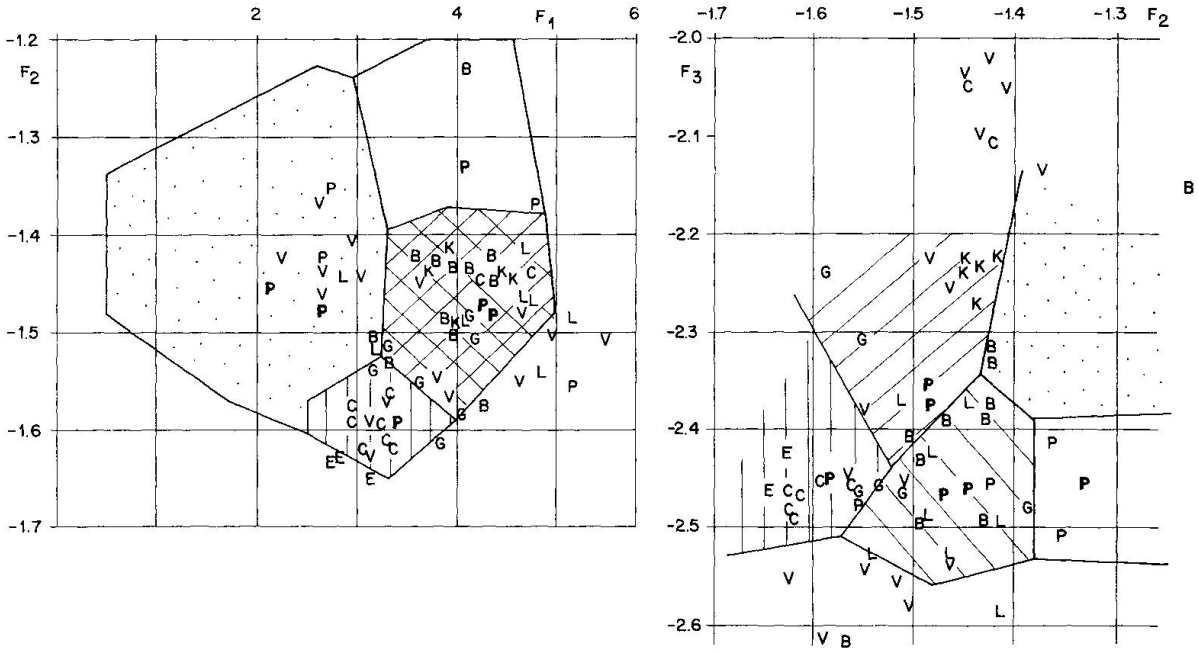


Fig. 6a: Projektionspunkte im Diskriminantenfeld nach PEARCE (1976); Literaturwerte ohne Kalzitkorrektur. Für Signaturen vgl. Fig. 5a.
Für Symbole C, E, L, V, vgl. Fig. 8a: B = nach BERTRAND (1975), Pillows Guatemala
G = nach CORTESOGNO et al., (1978), Ligurien
P = nach PEARCE (1975), Zypern. Fett: Mittelwerte verschiedener Gruppen

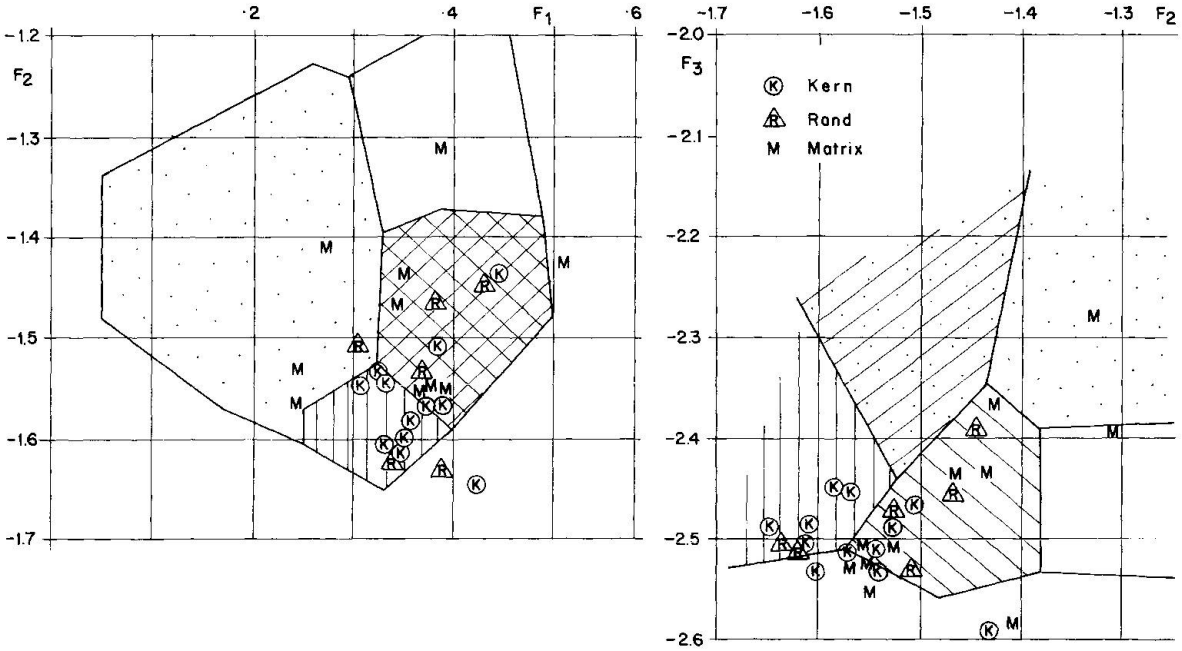


Fig. 6b: Projektionspunkte im Diskriminantenfeld nach PEARCE (1976); Metapillows Zermatt-Saas, nach Kalzitkorrektur

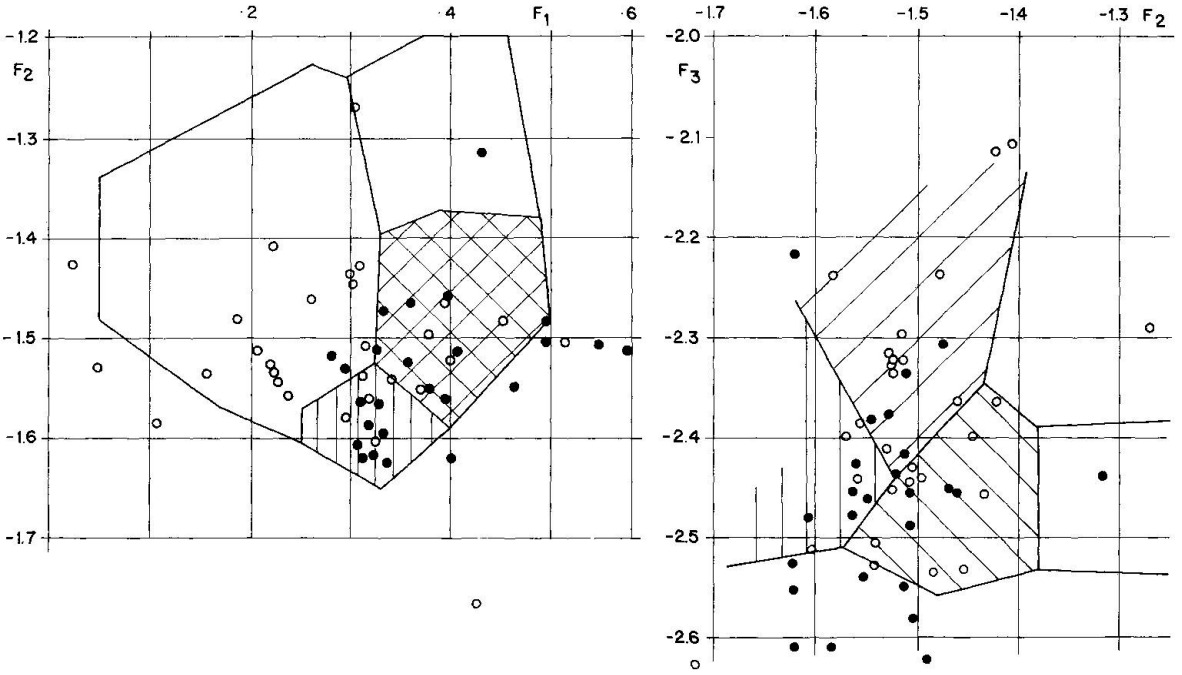


Fig. 7: Projektionspunkte im Diskriminantenfeld nach PEARCE (1976); Literaturwerte nach VALLANCE (1965) und OBERHÄNSLI (1977): Originalwerte ohne Kalzitkorrektur = offene Kreise, nach Kalzitkorrektur = gefüllte Kreise. Für Signaturen vgl. Fig. 5a. Bemerkenswert ist das fast vollständige Verschwinden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

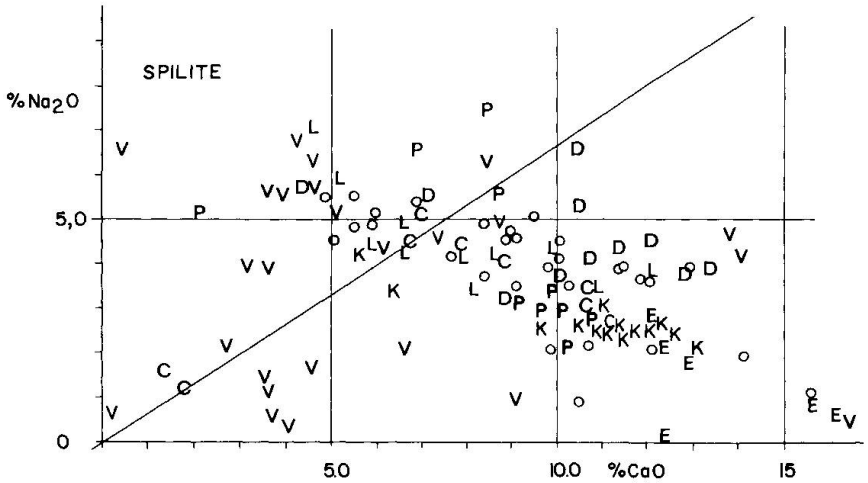


Fig. 8a: Projektionspunkte im Na / Ca-Diagramm. Metapillows Zermatt-Saas = Kreise;
Literaturwerte V nach VALLANCE, 1965 (Grossbritannien)
C nach CANN, 1969 (Mittelozeanische Rücken, Carlsberg Ridge)
K nach KAY et al., 1970 (Mittelozeanische Rücken)
P nach BEARTH et al., 1971 (Zermatt-Saas)
D nach DAL PIAZ et al., 1978 (Piemont)
E nach EVANS et al., 1979 (Cima di Gagnone)
L nach LEUSCH et al., 1979 (Iran)
Keine Kalzitkorrektur

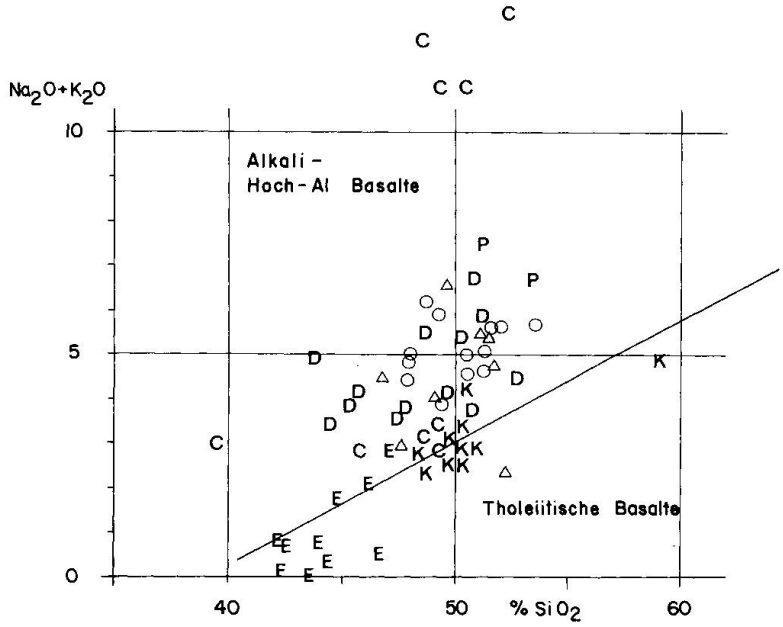


Fig. 8b: Projektionspunkte im Alkali-Si Diagramm. Metapillows Zermatt-Saas = Kreise (Pillowkern), Dreiecke (Pillowrand)
Literaturwerte siehe Legende Fig. 8a
Keine Kalzitkorrektur

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 Tholeiites. 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*, 471

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