

Metavulkanite aus der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe (Kärnten, Österreich) und ihre plattentektonische Bedeutung

Von JÖRG LOESCHKE*)

Mit 9 Abbildungen und 5 Tabellen

*Kärnten
Saualpe
Altkristallin
Metavulkanite
Geochemie
Plattentektonik*

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 203, 204

Inhalt

Zusammenfassung	301
Abstract	301
1. Einleitung	301
2. Geochemische Zusammensetzung	302
3. Plattentektonische Interpretation	307
Dank	312
Literatur	313

Zusammenfassung

In der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe treten weit verbreitet Metavulkanite (Amphibolite, Grünschiefer, Biotit-Albit-Schiefer, Metatrachyte und Metarhyolithe) auf, von denen nur wenige geochemische Daten vorliegen. Es wurden 37 neue Analysen angefertigt, um an Hand vorwiegend immobilier Elemente den ehemaligen geotektonischen Bildungsraum zu bestimmen. Dabei wurden 8 Gesteine, die als Metatuffite angesprochen werden konnten, ausgesondert und nicht weiter berücksichtigt. Die restlichen 29 Metavulkanite gehören zur Gruppe der Alkali-Gesteine (Alkali-Basalte, Trachyandesite, Trachyte, Peralkali-Rhyolithe). Ähnliche Vulkanite kommen im rezenten Bereich in verschiedenen geotektonischen Bildungsräumen vor, und zwar in kontinentalen Gräben, auf ozeanischen Inseln, im „Back-Arc“-Bereich und auf Bruchzonen von Inselbögen und aktiven Kontinentalrändern. Eine eindeutige Zuordnung der Metavulkanite der südlichen Saualpe zu einem dieser Bildungsräume ist nicht möglich.

Abstract

Metavolcanic rocks (amphibolites, greenschists, biotite-albite-schists, metatrachytes, metarhyolites) occur widely distributed in the Phyllite Group of the southern Saualpe. There are only a few geochemical analyses available, and 37 new samples have been analysed to determine the former geotectonic setting of these metavolcanic rocks using predominantly immobile elements. 8 samples which could be classified as metatuffites are treated separately and are not further considered here. The remaining 29 metavolcanic rocks are members of the alkali series (alkali basalts, trachyandesites, trachytes, peralkali-rhyolites). Similar recent volcanic rocks occur in various geotectonic settings, i. e. in continental rifts, on oceanic

islands, in back-arc regions and in rift zones on island arcs and active continental margins. It is not possible to assign unequivocally the metavolcanic rocks of the southern Saualpe to one of these tectonic environments.

1. Einleitung

Die Geologie der Saualpe ist durch die eingehenden Untersuchungen der Universitäten Wien, Clausthal und Tübingen bekannt geworden (PILGER et al., 1975). Dort treten in der Phyllit-Gruppe, die zur Gurktaler Decke gehört und allochthon auf dem mittelostalpinen Kristallin der Glimmerschiefergruppe liegt (TOLLMANN, 1977, s. Abb. 1), zahlreiche verschiedene Metavulkanit-Typen auf, die von KLEINSCHMIDT et al. (1975) als Amphibolite, Grünschiefer, Biotit-Albit-Schiefer, Metakeratophyre und helle Metavulkanite bezeichnet werden. Mit Ausnahme der Metakeratophyre, die von HURLER (1972) bearbeitet worden sind, und einiger Metabasite, die von LODEMANN (1973) untersucht wurden, fehlen von diesen Metavulkaniten geochemische Daten.

Die Gesteine sind deshalb von besonderem Interesse, weil sie in vielen Fällen noch Feldspat-Einsprenglinge im Dünnschliff und somit ihre vulkanische Natur erkennen lassen (Abb. 2). Außerdem sind sie stratigraphisch insofern datiert, als sie unter wahrscheinlich devonischen Marmoren liegen, in denen außer Krinoiden-Stielgliedern auch ein Brachiopode gefunden wurde, dessen Alter zwar nicht genau, aber doch sehr wahrscheinlich mit Unter-Devon angegeben werden kann (NEUGEBAUER, 1970). Die Metavulkanite der Phyllit-

*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. JÖRG LOESCHKE, Institut und Museum für Geologie und Paläontologie, Universität Tübingen, Sigwartstraße 10, D-7400 Tübingen 1.

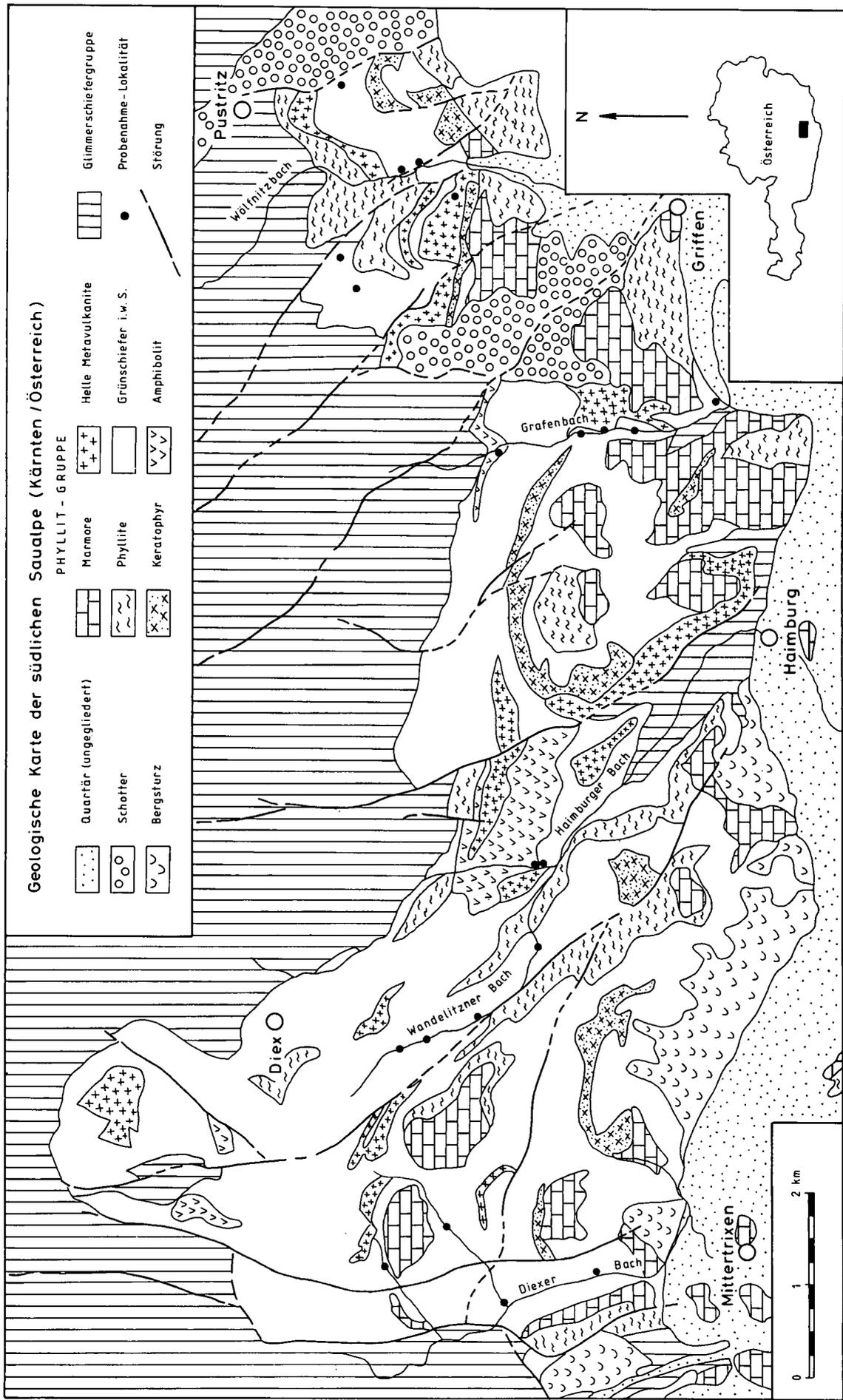


Abb. 1. Vereinfachte geologische Karte der südlichen Saualpe mit Angabe der Probenahme-Lokalitäten (nach PILGER et al., 1979).

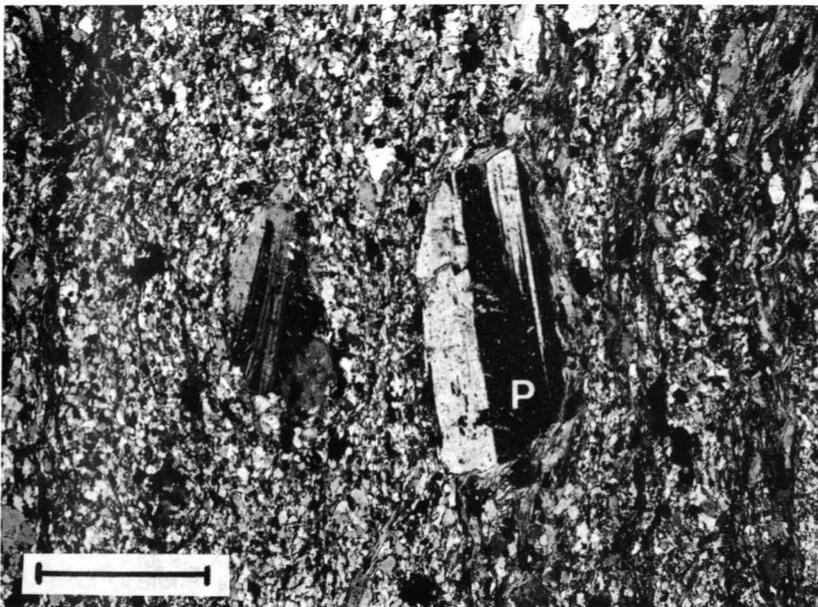


Abb. 2.
Dünnschliff-Photographie eines hellen Metavulkanites (Probe KS91, Tabelle 5).
Lokalität: Wandelitzner Bach bei Gehöft Wreschnig.
P = Plagioklas-(Albit-)Einsprengling, der in einer Grundmasse aus Feldspat, Quarz, Muskowit und Erz liegt.
Gekreuzte Nicols. Maßstab = 1 mm.

Gruppe können somit silurischen oder ordovizischen Alters sein. Auf Abb. 3 sind zwei stratigraphische Säulenprofile nach KLEINSCHMIDT et al. (1975) wiedergegeben, aus denen die Position der Metavulkanite unter den devonischen Marmoren hervorgeht.

Ausgangspunkt der Untersuchungen war eine von LOESCHKE (1977) zur Diskussion gestellte Hypothese, nach welcher die Metavulkanite der südlichen Saualpe mit zu einem oberordovizisch-untersilurischen Inselbogensystem gehören sollten, in welches auch die „Porphyroide“ der nördlichen Grauwackenzone nach Rückführung der alpidischen Deckenbewegungen einzugliedern wären. Es war nämlich von LODEMANN (1973) bekannt geworden, daß manche Grünschiefer eine intermediäre, eventuelle andesitische Zusammensetzung haben, die Hinweise auf ein solches Inselbogensystem liefern könnten.

Da plattentektonische Interpretationen heute in allen, auch paläozoischen Orogenen, eine wichtige Rolle einnehmen (FRISCH & LOESCHKE, 1986), soll hier geprüft werden, welche Aussagen die Metavulkanite der südlichen Saualpe hinsichtlich ihres ehemaligen geotektonischen Bildungsraumes zulassen. Dies kann mit Hilfe geochemischer Daten geschehen, die Vergleiche mit rezenten Vulkaniten aus ganz bestimmten geotektonischen Positionen (kontinentale Gräben, aktive und passive Kontinentalränder, mittelozeanische Rücken, ozeanische Inseln, Inselbogensysteme) erlauben. Grundsätzlich kann heute angenommen werden, daß die geotektonischen und vulkanischen Prozesse im Paläozoikum ähnlich wie heute abliefen und daß somit ein Vergleich zwischen den Metavulkaniten der südlichen Saualpe und rezenten Vulkaniten für paläotektonische Rekonstruktionen von Bedeutung ist.

Es wurden aus diesem Grunde zwischen Mittertrixen im W und Pustritz im E 37 Proben entnommen, deren Lokalitäten auf Abb. 1 wiedergegeben sind. Dabei handelt es sich um Amphibolite, Grünschiefer, Biotit-Albit-Schiefer und helle Metavulkanite. Die mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Gesteine ist von KLEINSCHMIDT (1970) und NEUGEBAUER (1970) eingehend beschrieben worden, so daß hier darauf hingewiesen werden kann.

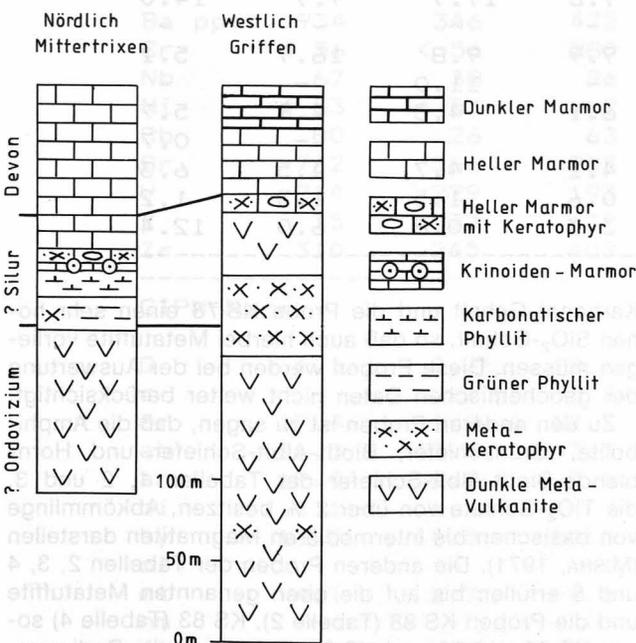


Abb. 3.
Zwei stratigraphische Säulenprofile aus der Phyllitgruppe der südlichen Saualpe nach KLEINSCHMIDT et al. (1975).

2. Geochemische Zusammensetzung

Die geochemische Zusammensetzung und petrographische Bezeichnung der Proben ist auf den Tabellen 1 bis 5 angegeben. Die Analysen wurden mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz durchgeführt (NORRIS & CHAPPELL, 1977), wobei die Eichkurven mit 15 internationalen Standards erstellt wurden.

Die geochemische Zusammensetzung der untersuchten Gesteine spiegelt in keinem Fall den exakten primärmagmatischen Stoffbestand wieder, da Haupt-Elemente mit großen Ionenradien und kleinen Ladungszahlen wie Na, K und Ca in wässrigen Lösungen mobil sind und zu metasomatischen Austauschvorgängen neigen (MASON & MOORE, 1982, S. 160). Aus diesem

Tabelle 1.

Haupt- und Spurenelementgehalte und CIPW-Norm von 7 basischen Metavulkaniten aus der südlichen Saualpe, die zwischen 44 und 52 % SiO₂ enthalten.
 KS32, KS33 = Amphibolite; KS31, KS73, KS76 = Grünschiefer; KS86, KS89 = Biotit-Albit-Schiefer.
 Analytikerin: M. FETH.

Probe	KS 32	KS 33	KS 31	KS 73	KS 76	KS 86	KS 89
SiO ₂ %	44.1	46.6	47.7	51.9	49.4	49.2	46.4
TiO ₂	2.7	2.5	3.0	2.1	2.4	2.3	3.3
Al ₂ O ₃	12.7	11.4	17.1	18.0	18.7	16.4	16.2
Fe ₂ O ₃	5.2	3.1	8.8	4.1	2.9	3.3	4.6
FeO	7.4	7.9	3.7	4.3	5.5	6.2	4.6
MnO	0.19	0.15	0.15	0.13	0.16	0.23	0.13
MgO	9.8	12.5	2.4	4.6	4.3	4.0	2.4
CaO	11.7	11.1	6.1	4.0	5.1	6.0	10.3
Na ₂ O	2.5	0.86	5.5	3.5	5.4	4.0	3.5
K ₂ O	0.17	0.16	2.0	2.9	2.1	3.2	1.7
H ₂ O+	0.71	1.9	0.91	3.1	2.4	1.2	1.0
P ₂ O ₅	0.36	0.42	0.75	0.23	0.60	0.55	0.50
CO ₂	2.0	1.6	2.2	1.4	0.33	2.6	5.4
Summe	99.53	100.19	100.31	100.26	99.29	99.18	100.03
Ba ppm	141	120	522	664	669	595	304
Cr	372	652	< 56	332	< 62	< 62	< 62
Nb	27	33	58	99	75	57	70
Ni	135	200	< 53	52	< 38	< 38	< 38
Rb	< 8	< 8	44	66	49	78	39
Sr	1123	381	177	373	514	320	386
V	377	359	212	218	150	183	249
Y	17	19	40	33	23	38	26
Zr	249	190	295	475	239	340	335
CIPW-Norm							
Q	-	3.8	-	9.2	-	1.1	10.1
c	-	-	1.7	5.8	0.5	2.8	3.6
or	1.0	1.0	11.9	17.6	12.8	19.3	10.1
ab	21.4	7.4	46.8	30.5	41.5	34.5	29.9
an	23.2	27.2	11.5	9.8	19.9	9.9	14.0
di	16.2	12.5	-	-	-	-	-
hy	13.3	15.5	10.3	9.9	9.8	16.9	5.1
ol	5.8	-	1.1	-	11.0	-	-
mt	7.6	4.6	3.7	6.1	4.3	4.9	5.7
hm	-	-	6.3	-	-	-	0.7
il	5.2	4.8	5.7	4.1	4.7	4.5	6.3
ap	0.9	1.0	1.8	0.6	1.5	1.3	1.2
cc	4.6	3.7	5.0	3.3	0.8	6.0	12.4

Gründe werden bei der nachfolgenden Diskussion vorzugsweise immobile Elemente wie Ti, P, Nb und Zr berücksichtigt (LOESCHKE, 1979; PEARCE & NORRY, 1979; PEARCE, 1983).

Darüberhinaus ist bei diesen Metavulkaniten nicht immer mit Sicherheit auszuschließen, daß hier auch Metatuffe bis Metatuffite vorliegen, die eine Beimengung epiklastischen Materials führen können. Deshalb wurden bei der Dünnschliffuntersuchung Proben mit höherem Muskowit-, Quarz- und/oder Karbonat-Anteil ausgesondert und als Metatuffite getrennt in Tabelle 3 aufgelistet (Proben KS 23, KS 24, KS 34, KS 35, KS 75, KS 78). Die hohen normativen Calcit-Gehalte der Proben KS 23, KS 24, KS 34 und KS 35 bestätigen, daß hier karbonatische Metatuffite vorliegen. Die Probe KS 75 hat geringe Alkali-Werte und einen erhöhten

Karbonat-Gehalt und die Probe KS 78 einen sehr hohen SiO₂-Gehalt, so daß auch hierbei Metatuffite vorliegen müssen. Diese Proben werden bei der Auswertung der geochemischen Daten nicht weiter berücksichtigt.

Zu den anderen Proben ist zu sagen, daß die Amphibolite, Grünschiefer, Biotit-Albit-Schiefer und Hornblende-Biotit-Albit-Schiefer der Tabellen 1, 2 und 3, die TiO₂-Gehalte von über 2 % besitzen, Abkömmlinge von basischen bis intermediären Magmatiten darstellen (MISRA, 1971). Die anderen Proben der Tabellen 2, 3, 4 und 5 erfüllen bis auf die oben genannten Metatuffite und die Proben KS 88 (Tabelle 2), KS 83 (Tabelle 4) sowie KS 30, KS 79 und KS 87 (Tabelle 5) die Bedingungen für Abkömmlinge von intermediären bis sauren Magmatiten nach SHAW (1972). Die Probe KS 88 hat für die Bedingungen nach SHAW (1972) einen um 0,5 % zu

hohen CaO-Gehalt. Sie wurde bei der Interpretation dennoch berücksichtigt, da sie sehr hornblendereich ist und mit Sicherheit einen magmatischen Stoffbestand besitzt, was aus der geochemischen Zusammensetzung hervorgeht. Die Proben KS 83 und KS 30 weichen von den Bedingungen nach SHAW (1972) aufgrund ihres hohen Na₂O-Gehaltes ab. Sie wurden dennoch berücksichtigt, da sie im Dünnschliff schöne Feldspat-Einsprenglinge erkennen lassen und die Summe der Alkalien für eine magmatische Herkunft dieser Proben hoch genug ist. Die hohen Na₂O-Werte und die damit verbundenen niedrigen K₂O-Werte lassen auf Austauschreaktionen innerhalb der Alkalien schließen. An der magmatischen Natur dieser Gesteine ist aber nicht zu zweifeln. Die Proben KS 79 und KS 87 haben für

Magmatite, die dementsprechend hohe SiO₂-Gehalte besitzen, zu geringe Alkali-Werte. Sie wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt und sind nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um umgelagerte rhyolithische Aschen, die bei der Umlagerung durch Verwitterungsprozesse an Feldspat und somit an Alkalien verarmten.

Innerhalb der Gesteinstypen, die eine magmatische Herkunft haben, werden fünf Gesteinsgruppen unterschieden, und zwar zunächst zwei Amphibolite (Nr. 51 nach PILGER et al., 1978), die Summen von MgO + CaO von mehr als 20 % besitzen und somit als olivin-basaltisch bis pikritisch angesprochen werden können (Proben KS 32, KS 33, Tabelle 1). Diese Gesteine haben auch relativ niedrige SiO₂-, Al₂O₃- und Alkali-Gehalte

Tabelle 2.

Haupt- und Spurenelementgehalte und CIPW-Norm von 7 intermediären Metavulkaniten aus der südlichen Saualpe, die zwischen 52,0 und 57,9 % SiO₂ enthalten.

KS27, KS84, KS90 = Biotit-Albit-Schiefer; KS74, KS77 = Grünschiefer; KS36, KS88 = Hornblende-Biotit-Albit-Schiefer.

Analytikerin: M. FETH.

Probe	KS 27	KS 36	KS 74	KS 77	KS 84	KS 88	KS 90
SiO ₂ %	53.8	53.7	55.0	54.8	52.4	54.0	54.7
TiO ₂	2.0	2.2	1.7	1.9	2.0	1.6	1.3
Al ₂ O ₃	15.9	16.5	15.8	18.4	16.5	16.8	17.7
Fe ₂ O ₃	2.8	1.5	2.8	2.8	2.2	3.1	4.2
FeO	5.4	6.7	3.4	4.5	6.6	5.5	2.4
MnO	0.16	0.13	0.12	0.08	0.15	0.13	0.17
MgO	3.6	4.3	3.5	2.7	4.2	4.7	2.0
CaO	6.3	6.2	5.7	3.5	4.3	6.5	3.8
Na ₂ O	3.6	5.0	4.3	4.3	5.1	3.5	5.3
K ₂ O	2.9	1.0	2.1	2.9	3.3	1.8	4.2
H ₂ O+	1.4	1.4	1.9	2.1	0.93	1.7	1.4
P ₂ O ₅	0.56	0.45	0.37	0.50	0.47	0.41	0.53
CO ₂	1.2	-	2.7	1.2	1.9	0.67	2.3
Summe	99.62	99.08	99.39	99.68	100.05	100.41	100.00
Ba ppm	934	346	472	468	844	503	749
Cr	< 56	< 56	280	< 62	< 62	< 62	< 62
Nb	67	38	86	132	50	32	84
Ni	< 53	< 53	62	< 38	< 38	< 38	< 38
Rb	80	26	63	75	91	44	96
Sr	742	566	253	386	420	558	207
V	214	229	193	150	199	181	63
Y	35	23	32	41	32	27	49
Zr	310	245	403	489	219	224	571
CIPW-Norm							
Q	6.1	0.7	12.6	10.8	-	6.7	4.5
c	-	-	3.3	5.9	2.3	-	4.2
or	17.4	6.0	12.7	17.6	19.7	10.8	25.2
ab	31.0	43.3	37.3	37.3	43.5	30.0	45.5
an	19.0	20.1	9.0	6.7	6.3	25.1	0.9
di	1.1	6.9	-	-	-	0.4	-
hy	13.3	15.5	10.3	9.9	9.8	16.9	5.1
ol	-	-	-	-	5.9	-	-
mt	4.1	2.2	4.2	4.2	3.2	4.6	4.6
hm	-	-	-	-	-	-	1.1
il	3.9	4.3	3.3	3.7	3.8	3.1	2.5
ap	1.4	1.1	0.9	1.2	1.1	1.0	1.3
cc	2.8	-	6.3	2.8	4.4	1.5	5.3

und höherer Cr- und Ni-Gehalte, wodurch der Reichtum an primär vorhandenem Pyroxen und Olivin betont wird.

Außerdem wurden fünf Grünschiefer und Biotit-Albit-Schiefer untersucht, die eine basaltische Zusammensetzung und SiO₂-Gehalte zwischen 46,0 und 51,9 % besitzen (Nr. 19 und 32 nach PILGER et al., 1978; Proben KS 31, KS 73, KS 76, KS 86, KS 89, Tabelle 1). Es fallen hierbei die meist relativ hohen TiO₂-, P₂O₅-, Nb- und Zr-Werte auf, so daß hieraus gefolgert werden kann, daß es sich wahrscheinlich um ehemalige Alkali-Basalte handelt.

Weitere neun Analysen stammen von Grünschiefern, Biotit-Albit-Schiefern und Hornblende-Biotit-Albit-Schiefern (Nr. 19, 20 und 32 nach PILGER et al., 1978),

die eine intermediäre Zusammensetzung mit SiO₂-gehalten zwischen 52,0 und 57,9 % haben (Proben KS 27, KS 36, KS 74, KS 77, KS 84, KS 88, KS 90, KS 93, KS 95, Tabelle 2 und 3). Hierbei ist besonders wichtig zu klären, ob diese kalkalkalische Andesite oder Alkali-betonte Trachyandesite (Hawaiite, Mugearite) sind. Die Analysen zeigen, daß diese Gesteine P₂O₅- und Zr-reich und somit an inkompatiblen Elementen angereichert sind. Es liegen hier deshalb wahrscheinlich Differentiate von Alkali-Basalten ungefähr mugearitischer Zusammensetzung und nicht etwa kalkalkalische Andesite vor.

Eine weitere Gruppe stellt Gesteine dar, die SiO₂-Gehalte zwischen 58,0 und 62,7 % besitzen. Dies sind Biotit-Albit-Schiefer (Nr. 32 nach PILGER et al., 1978);

Tabelle 3.

Haupt- und Spurenelementgehalte und CIPW-Norm von zwei intermediären Metavulkaniten aus der südlichen Saualpe, die zwischen 52,0 und 57,9 % SiO₂ enthalten (KS93, KS95 = Biotit-Albit-Schiefer). Außerdem 6 Analysen von Metatuffiten aus der südlichen Saualpe (KS23, KS24, KS75 = Karbonatischer Grünschiefer; KS34, KS35 = Karbonatischer Biotit-Albit-Schiefer; KS78 = Heller Metatuffit).

Analytikerin: M. FETH.

Probe	KS 93	KS 95	KS 23	KS 24	KS 34	KS 35	KS 75	KS 78
SiO ₂ %	54.9	53.3	36.2	40.0	28.9	22.33	59.5	82.2
TiO ₂	1.4	2.1	2.7	3.0	2.3	1.6	1.2	0.12
Al ₂ O ₃	17.4	20.9	10.1	13.6	10.1	8.4	12.1	9.8
Fe ₂ O ₃	4.9	2.1	4.4	5.3	6.4	2.1	3.4	0.65
FeO	2.9	2.1	4.3	6.3	2.9	2.2	4.1	0.46
MnO	0.13	0.05	0.24	0.12	0.25	0.18	0.14	0.01
MgO	1.5	2.0	4.3	10.5	2.6	1.5	3.8	0.22
CaO	4.0	3.8	18.0	7.7	23.5	32.6	5.6	< 0.39
Na ₂ O	6.7	5.3	3.8	2.2	1.6	0.29	2.2	3.4
K ₂ O	2.8	4.3	0.81	0.98	1.9	1.9	1.9	1.8
H ₂ O+	1.3	1.3	2.0	4.7	0.73	0.39	2.4	0.68
P ₂ O ₅	0.56	0.60	0.44	0.47	0.31	0.38	0.35	0.01
CO ₂	1.9	1.4	12.3	4.2	17.6	25.5	3.2	0.15
Summe	100.39	99.25	99.59	99.07	99.09	99.34	99.89	99.50
Ba ppm	506	576	295	194	394	519	393	50
Cr	< 62	< 62	87	118	677	233	193	< 62
Nb	82	53	43	36	35	26	62	103
Ni	< 38	< 38	< 53	89	149	120	47	< 38
Rb	61	75	21	25	39	37	51	96
Sr	219	274	530	176	352	555	195	30
V	55	170	291	276	243	168	136	< 16
Y	43	42	21	21	22	22	29	32
Zr	491	368	225	214	192	182	296	296
CIPW-Norm								
Q	1.2	0.4	0.9	3.2	7.1	12.1	30.9	56.3
c	1.8	5.4	-	6.1	4.3	6.7	4.6	2.7
or	16.7	25.9	4.9	6.1	11.4	11.3	11.5	10.8
ab	57.2	45.8	32.9	19.7	13.8	2.5	19.1	29.1
an	4.2	6.2	8.3	9.1	3.4	-	5.4	-
di	-	-	0.4	-	-	-	-	-
hy	3.8	5.1	11.0	30.3	6.6	3.8	12.8	0.7
mt	5.8	0.9	6.5	8.1	3.6	3.1	5.1	1.0
hm	1.0	1.5	-	-	4.1	-	-	-
il	2.7	4.1	5.3	6.0	4.4	3.1	2.3	0.2
ap	1.4	1.5	1.1	1.2	0.8	0.9	0.9	-
cc	4.4	3.3	28.7	10.1	40.7	58.6	7.5	0.3

Tabelle 4.
Haupt- und Spurenelementgehalte und CIPW-Norm von 7 intermediären Metavulkaniten aus der südlichen Saualpe, die zwischen 58,0 und 62,9 % SiO₂ enthalten.
KS28, KS37, KS80, KS81, KS83, KS85, KS96 = Biotit-Albit-Schiefer.
Analytikerin: M. FETH.

Probe	KS 28	KS 37	KS 80	KS 81	KS 83	KS 85	KS 96
SiO ₂	60.0	58.1	60.4	58.3	62.3	62.7	58.8
TiO ₂	1.0	1.2	1.3	1.3	0.9	0.75	2.2
Al ₂ O ₃	18.2	16.5	15.9	16.2	17.6	16.5	19.2
Fe ₂ O ₃	2.7	3.2	3.2	3.2	1.2	3.7	3.4
FeO	1.2	3.9	3.2	3.7	3.6	2.2	2.2
MnO	0.08	0.11	0.16	0.13	0.10	0.13	0.10
MgO	1.5	2.7	2.3	2.9	2.5	0.81	1.3
CaO	2.0	6.0	3.9	4.0	1.7	3.9	3.1
Na ₂ O	4.7	2.1	4.7	4.0	7.5	4.5	4.6
K ₂ O	5.2	3.4	2.3	2.8	2.0	2.4	3.1
H ₂ O+	1.4	0.67	1.4	1.8	0.66	1.2	1.3
P ₂ O ₅	0.27	0.50	0.41	0.42	0.30	0.28	0.43
CO ₂	1.6	1.9	0.62	0.55	0.47	1.6	0.58
Summe	99.85	100.28	99.79	99.30	100.83	100.67	100.31
Ba ppm	1000	692	677	692	495	756	712
Cr	< 56	< 56	< 62	< 62	< 62	< 62	83
Nb	127	56	43	47	61	76	60
Ni	< 53	< 53	< 38	< 38	< 38	< 38	< 38
Rb	91	64	73	84	57	48	42
Sr	309	592	528	539	292	229	415
V	62	102	124	140	61	25	220
Y	40	38	32	34	31	39	30
Zr	469	318	286	297	361	500	285
CIPW-Norm							
Q	11.6	21.4	14.9	13.4	3.8	23.1	14.5
c	5.6	4.1	1.0	1.6	1.8	3.8	5.1
or	31.2	20.2	13.8	17.0	11.8	14.3	18.5
ab	40.4	17.8	40.4	34.7	63.4	38.3	39.3
an	-	14.5	13.0	14.0	3.5	7.4	9.0
hy	3.8	9.5	7.2	9.7	10.5	2.0	3.3
mt	1.2	4.7	4.7	4.8	1.7	5.4	1.1
hm	1.9	-	-	-	-	-	2.7
il	1.9	2.3	2.5	2.5	1.7	1.4	4.2
ap	0.7	1.2	1.0	1.0	0.7	0.7	1.0
cc	3.7	4.3	1.4	1.3	1.1	3.7	1.3

Proben KS 28, KS 37, KS 80, KS 81, KS 83, KS 85, KS 96, Tabelle 4). Diese Gruppe ist von den Analysen her nicht gut anzusprechen. Dennoch lassen die z. T. hohen Alkali-Gehalte und die im Vergleich zu kalkalkalischen Gesteinen mit ähnlichen SiO₂-Gehalten höheren TiO₂-, P₂O₅-, Nb- und Zr-Werte ebenfalls darauf schließen, daß hier eventuell Differentiate von Alkali-Basalten (Benmoreite, Trachyte [HUGHES, 1982, S. 300]) und ebenfalls keine kalkalkalischen Andesite vorliegen.

Die fünfte Gruppe wird von rhyolithischen Gesteinen gebildet (helle Metavulkanite, Nr. 30 nach PILGER et al., 1978), die SiO₂-Werte zwischen 65,0 und 72,0 % besitzen (Proben KS 30, KS 38, KS 82, KS 91, KS 92, KS 94, Tabelle 5). Hier fallen die hohen Nb- und Zr-Werte auf, die anzeigen, daß es sich um Peralkali-Rhyolithe (Comendite, Pantellerite) handelt.

3. Plattentektonische Interpretation

Um einen Überblick zu erhalten, werden zunächst drei Abbildungen vorgestellt, auf denen mit Ausnahme der als Tuffite und umgelagerte rhyolithische Aschen angesprochenen Proben die anderen fünf genannten Gesteinsgruppen mit unterschiedlichen Symbolen dargestellt sind (Abb. 4, 5 und 6).

Abb. 4 zeigt in einem Nb, Zr-SiO₂-Diagramm die Variationsbreite der untersuchten Metavulkanite. Die SiO₂-Werte schwanken zwischen 45 % und 73 % (H₂O- und CO₂-frei berechnet) und zeigen eine kontinuierliche Abfolge vom Basalt bis zum Rhyolith, wobei im Vergleich zu Gesteinen eines rezenten Inselbogens wie dem Sundabogen (WHITFORD et al., 1979) generell höhere Werte an Nb und Zr auftreten. Dies bedeutet, daß

Tabelle 5.
Haupt- und Spurenelementgehalte und CIPW-Norm von 6 hellen Metavulkaniten (KS30, KS38, KS82, KS91, KS92, KS94) und zwei hellen Metatuffiten (KS79, KS87) aus der südlichen Saualpe, die zwischen 65,0 und 75,9 % SiO₂ enthalten.
Analytikerin: M. FETH.

Probe	KS 30	KS 38	KS 79	KS 82	KS 87	KS 91	KS 92	KS 94
SiO ₂ %	71.7	66.8	75.3	69.9	69.1	65.9	66.0	66.9
TiO ₂	0.27	0.92	0.13	1.0	0.27	0.39	0.37	0.37
Al ₂ O ₃	15.3	15.7	12.8	14.0	15.4	16.3	15.3	16.5
Fe ₂ O ₃	1.3	1.3	1.3	0.63	2.4	3.8	3.2	3.6
FeO	0.70	1.0	0.96	2.0	1.5	1.4	0.74	1.2
MnO	< 0.03	< 0.03	0.03	0.05	0.05	0.10	0.08	0.02
MgO	0.17	1.3	1.2	1.1	1.5	0.76	0.80	1.1
CaO	0.26	2.3	0.48	2.0	1.9	0.82	2.6	0.55
Na ₂ O	8.5	2.8	2.0	5.9	2.5	5.6	4.4	3.5
K ₂ O	0.26	6.1	3.2	1.2	3.3	3.0	2.8	3.8
H ₂ O+	0.87	0.95	1.4	0.56	1.2	0.93	1.2	1.3
P ₂ O ₅	0.04	0.23	0.02	0.23	0.05	0.11	0.10	0.11
CO ₂	-	1.5	0.56	0.15	0.40	0.67	1.7	0.56
Summe	99.37	100.90	99.38	98.72	99.57	99.78	99.29	99.51
Ba ppm	199	576	237	353	587	1018	849	783
Cr	< 56	< 56	< 62	< 62	< 62	< 62	< 62	< 62
Nb	64	51	124	50	66	85	76	85
Ni	< 53	< 53	< 38	< 38	< 38	< 38	< 38	< 38
Rb	< 8	118	99	32	37	67	58	60
Sr	123	220	53	171	238	155	494	228
V	< 14	83	< 16	90	19	< 16	< 16	20
Y	44	39	44	28	35	50	42	51
Zr	488	339	330	316	617	683	637	695
CIPW-Norm								
Q	20.9	25.1	51.0	25.9	37.3	21.3	28.4	31.6
c	0.7	4.3	6.7	0.3	5.4	4.2	4.6	7.3
or	1.6	36.1	19.3	7.2	19.8	17.9	16.9	22.9
ab	73.0	23.7	17.3	50.9	21.5	47.9	38.0	30.2
an	1.0	0.4	-	7.6	6.7	-	1.5	-
hy	0.4	3.2	3.6	4.4	4.2	1.9	2.0	2.8
mt	1.5	0.6	1.9	0.9	3.5	3.8	1.6	2.9
hm	0.3	0.9	-	-	-	1.3	2.2	1.7
il	0.5	1.7	0.3	1.9	0.5	0.7	0.7	0.7
ap	0.1	0.6	-	0.6	0.1	0.3	0.2	0.3
cc	-	3.4	1.3	0.3	0.9	1.5	3.9	1.3

es sich bei den Gesteinen der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe nicht um kalkalkalische Vulkanite eines aktiven Kontinentalrandes oder Inselbogens handeln kann, sondern um Alkali-Gesteine, die im Vergleich zu Kalkalkali-Gesteinen höhere Nb- und Zr-Gehalte besitzen.

Ein gleiches Ergebnis liefert die Abbildung 5, auf welcher die Zr/TiO₂-Verhältnisse gegen Nb/Y-Verhältnisse aufgetragen sind. Diese Abbildung dient nach WINCHESTER & FLOYD (1977) der Klassifikation metamorpher Vulkanite, bei welcher nur die immobilen Elemente Ti, Zr, Nb und Y Berücksichtigung finden. Danach handelt es sich bei den untersuchten Gesteinen generell um Alkali-Gesteine wie Alkali-Basalte, Trachyandesite und Trachyte. Eine Probe fällt in den Grenzbereich zwischen Trachyten und Peralkali-Rhyolithen (Comenditen, Pantelleriten). Ob diese Klassifikation streng genommen richtig ist, sei dahingestellt. Die hellen Metavulka-

nite (offene Quadrate auf Abb. 5, Tab. 5) haben SiO₂-Gehalte von über 65 % und sollten aus diesem Grunde als Rhyodazite bis Rhyolithe und nicht als Trachyte oder Trachyandesite angesprochen werden.

In Abb. 6 ist eine Klassifikation nach geotektonischen Gesichtspunkten wiedergegeben (PEARCE, 1983). Dort sind Laven mittelozeanischer Rücken (MORB) von Inselbogen- und Intraplatten-Laven unterschieden worden. Die von links unten nach rechts oben schräg verlaufende Linie grenzt die Basalte (oben) von deren Differentiaten (unten) ab. Es zeigt sich, daß alle Analysen der untersuchten Metavulkanite in das Feld der Intraplatten-Laven oder an die Grenze zwischen Intraplatten-Laven und Inselbogen-Laven fallen.

Aus den Abbildungen 4, 5 und 6 kann man somit schließen, daß die Metavulkanite der südlichen Saualpe Alkali-Basalte und wahrscheinlich deren Differentiate (Trachyandesite, Trachyte) sowie Peralkali-Rhyolithe

darstellen, die sich in einem Dehnungsbereich auf kontinentalem oder ozeanischem Untergrund gebildet haben. Rezente Vergleichsfälle wären kontinentale Gräben (Ost-Afrika [WEAVER et al., 1972]), Übergangsbereiche zwischen kontinentaler und ozeanischer Kruste (Afar-Senke [BARBERI et al., 1975]) und ozeanische Inseln (Azoren [WHITE et al., 1979]).

Alkali-Basalte treten aber auch in „Back-Arc“-Bereichen (Japanisches Meer [NAKAMURA et al., 1985]) auf, und Peralkali-Rhyolithe, die in der südlichen Saualpe öfters anzutreffen sind, finden sich auch in Bruchzonen auf Inselbögen (SW-Pazifik [SMITH et al., 1977]; Neuseeland [EWART et al., 1968]).

Um diese Fragen weiter abzuklären, werden noch drei weitere Diagramme diskutiert (Abb. 7, 8 und 9). In Abb. 7 ($TiO_2/MnO \times 10/P_2O_5 \times 10$ -Diagramm, [MULLEN, 1983]), die nur für Gesteine ozeanischer Bereiche gilt, fallen diejenigen untersuchten Proben, die zwischen 45 % und 54 % SiO_2 enthalten, überwiegend in das Feld der Alkali-Basalte ozeanischer Inseln. Nur eine Probe fällt in das Feld tholeiitischer Basalte ozeanischer Inseln. Ob die untersuchten Gesteine im Bereich ozeanischer Inseln oder in einem kontinentalen Dehnungsbereich gefördert worden sind, läßt sich nicht entscheiden, da der Untergrund, auf dem sich das vulkanische Geschehen abspielte, unbekannt ist. Es ist

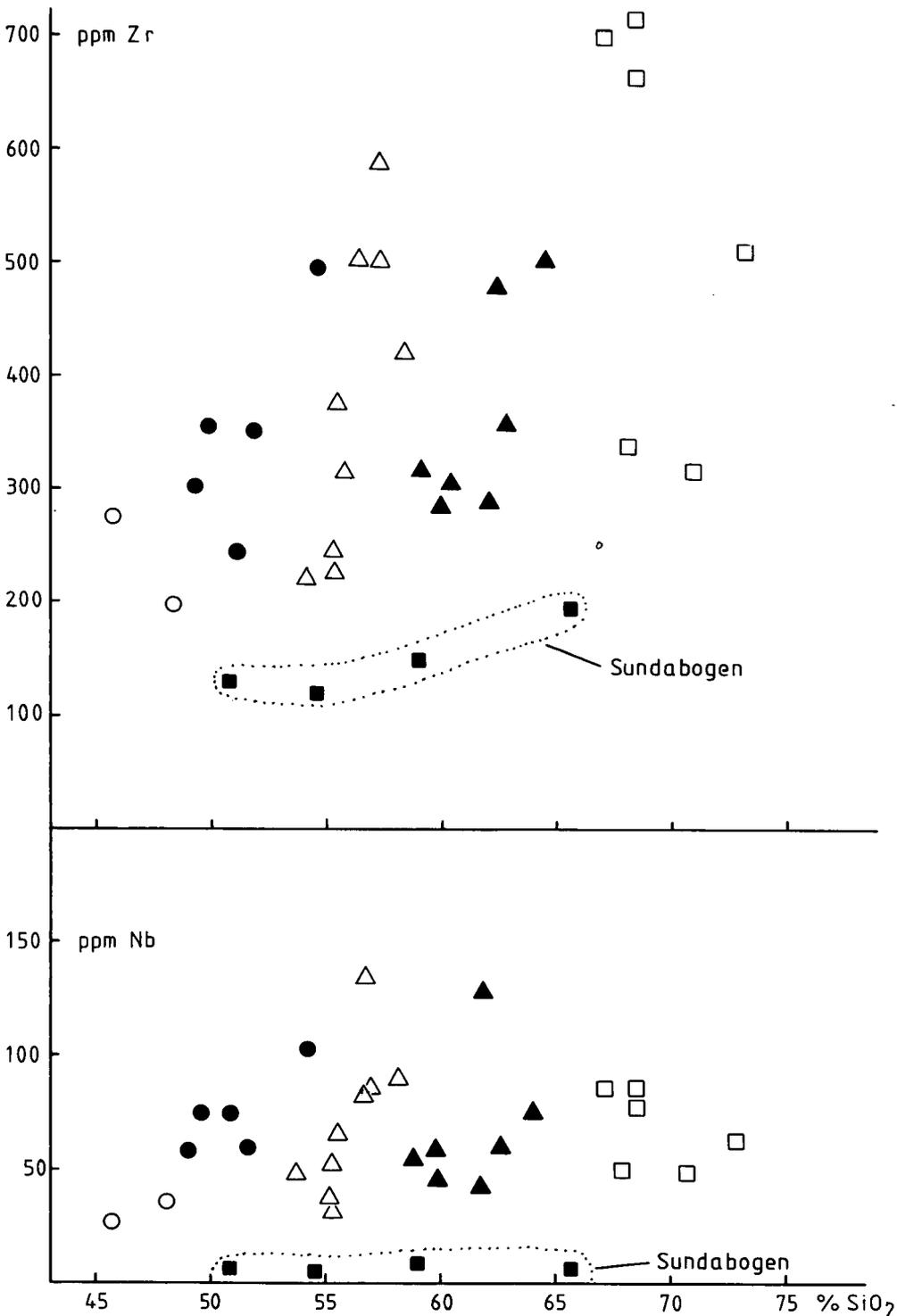


Abb. 4.
Zr-Nb- SiO_2 -Diagramm für 29 Analysen von Metavulkaniten aus der südlichen Saualpe. Zum Vergleich ist das Feld von kalkalkalischen Basalten, basaltischen Andesiten, Andesiten und Daziten des Sunda-Bogens (WHITFORD et al., 1979) dargestellt (■ umgeben von punktierter Linie). Die Werte sind H_2O - und CO_2 -frei berechnet. Symbole wie auf Abb. 5.

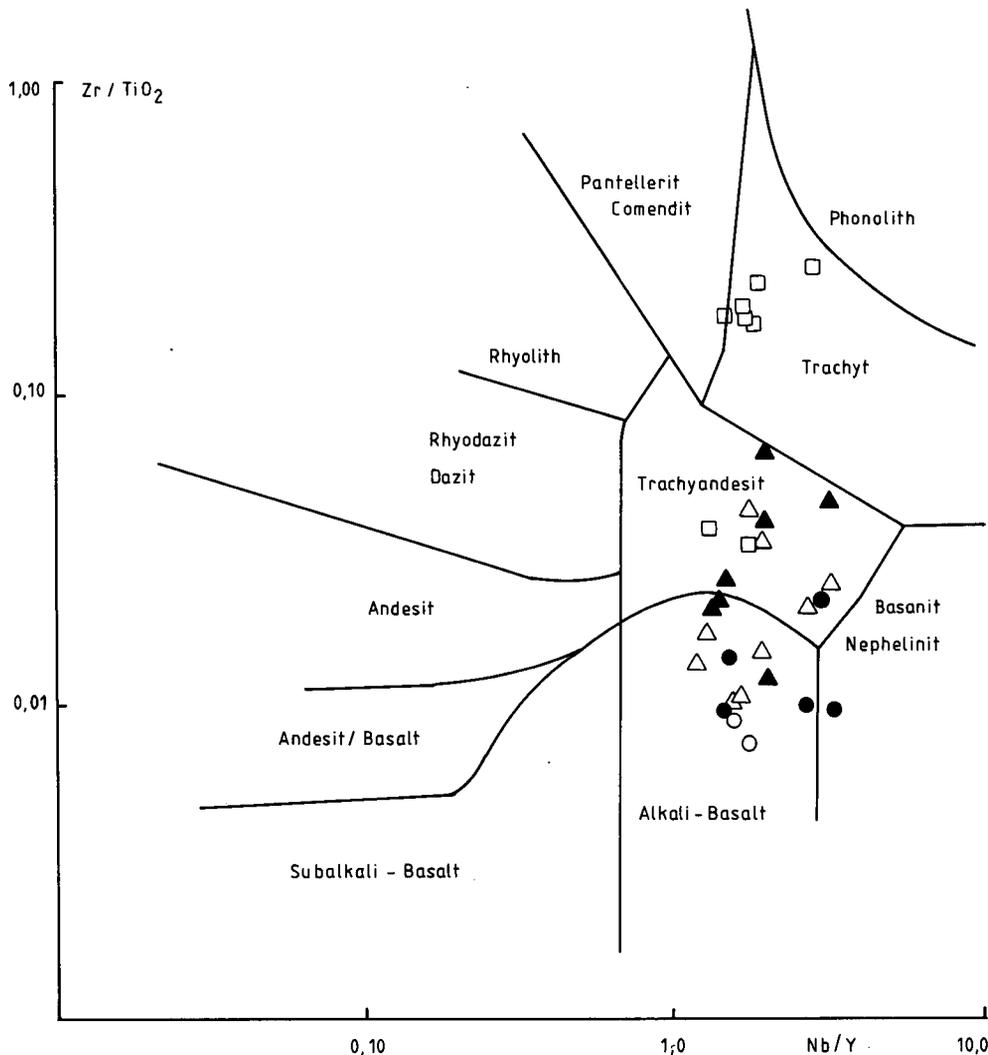


Abb. 5.
Zr/TiO₂-Nb/Y-Diagramm nach WINCHESTER & FLOYD (1977) für 29 Analysen von Metavulkaniten aus der südlichen Saualpe.

- Proben mit MgO + CaO > 20%, ● Proben mit SiO₂ = 46,0 - 51,9%
- △ Proben mit SiO₂ = 52,0 - 57,9%, ▲ Proben mit SiO₂ = 58,0 - 62,9%
- Proben mit SiO₂ = 65,0 - 75,9%

ebenfalls offen, ob die basischen Metavulkanite der südlichen Saualpe nicht eventuell auch in einem Dehnungsbereich hinter einem Inselbogen gefördert worden sein könnten, da auch dort Alkali-Basalte auftreten können, die sich von Alkali-Basalten ozeanischer Inseln geochemisch nicht unterscheiden lassen. So zeigen die geochemischen Verteilungsmuster der Alkali-Basalte der Jejuda-Insel (Straße von Korea am SW-Ausgang des Japanischen Meeres), die kontinentwärts der Riu-kiu-Nankai-Rinne und somit in einem „Back-Arc“-Bereich liegt, große Ähnlichkeiten mit Alkali-Basalten ozeanischer Inseln (NAKAMURA et al., 1985). Sie weichen in ihrer Zusammensetzung von Shoshoniten, die an sich für den „Back-Arc“-Bereich typisch sind (PEARCE, 1982), dadurch ab, daß sie nicht die für Shoshonite typische Anreicherung an Nb und Ti zeigen, sondern die für alkalische Intraplattenbasalte typische Anreicherung an diesen Elementen. Die Ergebnisse der chemischen Analysen der untersuchten Metavulkanite lassen aus diesen Gründen mehrere Interpretationsmöglichkeiten zu.

Da für die Metavulkanite der südlichen Saualpe nicht nur basische, sondern auch intermediäre und saure Gesteine typisch sind, soll noch auf die Abbildungen 8

und 9 eingegangen werden, die sich speziell mit SiO₂-reichen Gesteinen befassen. Von PEARCE et al. (1984) wurden ähnlich den Diagrammen, die die geotektonische Position von Basalten zum Inhalt haben (PEARCE, 1983) auch Diagramme entworfen, mit deren Hilfe granitische Gesteine (56 % bis 80 % SiO₂) verschiedener geotektonischer Positionen unterschieden werden können.

Es wurden deshalb einmal versuchsweise die Analysenwerte derjenigen Proben der südlichen Saualpe, die mehr als 58 % SiO₂ enthalten, in ein Nb-Y-Diagramm nach PEARCE et al. (1984) eingetragen (Abb. 8). Obwohl die Felder, die von PEARCE et al. (1984) für granitische Gesteine entworfen worden sind, nicht so ohne weiteres auf Rhyolithe übertragen werden sollten, so zeigt die Abb. 8 doch, daß die Analysen der SiO₂-reichen Metavulkanite der südlichen Saualpe im Feld der Intraplatten-Granite liegen und somit Ähnlichkeiten mit Graniten zum Ausdruck kommen, die in Dehnungsbereichen auftreten (z. B. kontinentale Gräben, ozeanische Inseln). Dadurch werden die bisherigen Interpretationen bestätigt.

Von LEAT et al. (1986) ist an Hand von Untersuchungen an ordovizischen Vulkaniten aus Wales darauf auf-

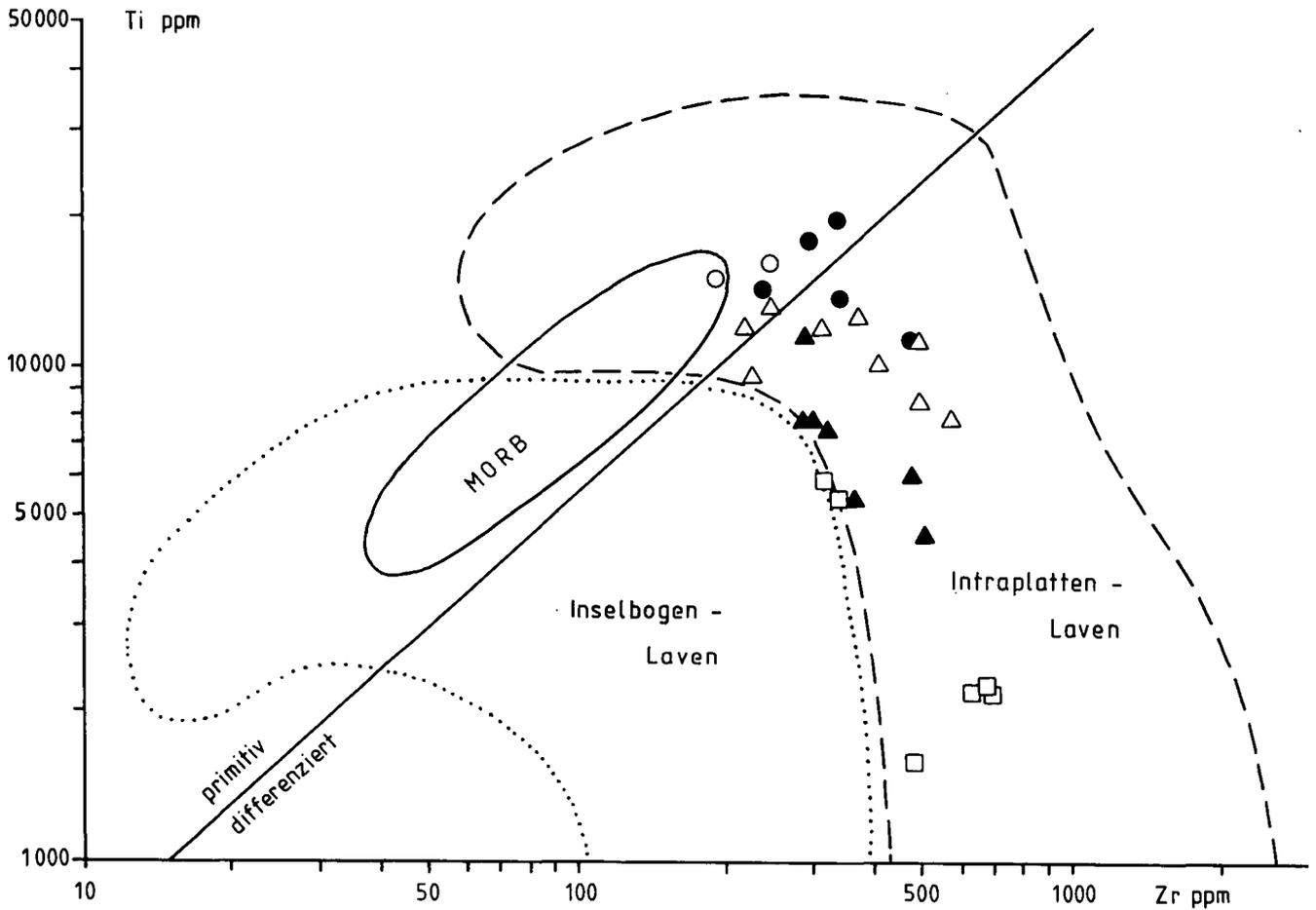


Abb. 6.
Ti-Zr-Diagramm nach PEARCE (1983) für 29 Analysen von Metavulkaniten aus der südlichen Saualpe.
MORB = Feld der Basalte mittelozeanischer Rücken.
Symbole wie auf Abb. 5.

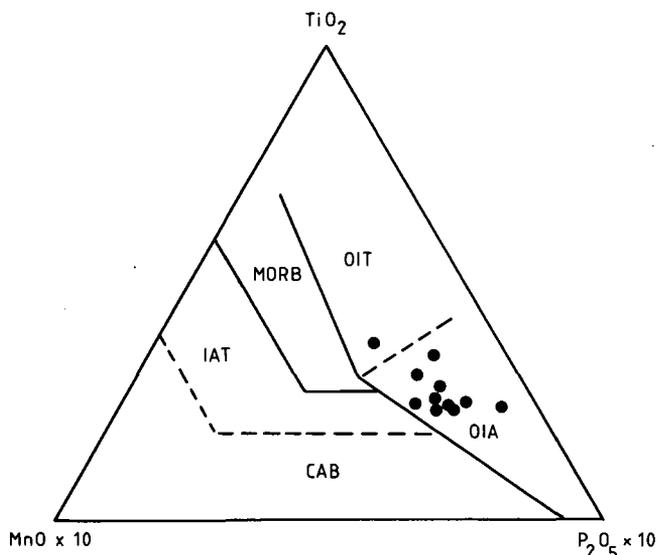


Abb. 7.
TiO₂-MnOx10-P₂O₅x10-Diagramm nach MULLEN (1983) für 11 basische bis intermediäre Metavulkanite aus der südlichen Saualpe, die zwischen 45 und 54 % SiO₂ enthalten.
MORB = Basalte mittelozeanischer Rücken; IAT = Inselbogenbasalte; CAB = Kalkalibasalte; OIT = Tholeiitische Basalte ozeanischer Inseln; OIA = Alkali-Basalte ozeanischer Inseln.

merksam gemacht worden, daß Rhyolithe aufgrund ihrer Zr- und Nb-Werte in verschiedene Gruppen eingeteilt werden können, die für bestimmte geotektonische Bereiche charakteristisch sind. So können beispielsweise kalkalkalische Rhyolithe von Inselbögen von Peralkali-Rhyolithen aus kontinentalen und ozeanischen Dehnungsbereichen klar unterschieden werden.

Die Klassifikation rhyolithischer Gesteine nach LEAT et al. (1986) ist in Abb. 9 übernommen worden. Es wurden dort diejenigen Analysenwerte der Metavulkanite der südlichen Saualpe eingetragen, die mehr als 58 % SiO₂ enthalten.

Auf Abb. 9 können folgende Rhyolith-Typen unterschieden werden:

- Rhyolithe primitiver Inselbögen mit niedrigen K-Gehalten („Low-K“, z. B. Süd-Sandwich Inseln, St. Kitts/Kleine Antillen [EWART, 1979; BAKER, 1984]).
- Rhyolithe stärker entwickelter Inselbögen („Calc-Alkaline“, z. B. Japan [EWART, 1979]).
- Rhyolithe aktiver Kontinentalränder mit hohen K-Gehalten („High-K“, z. B. Anden, westliches Nordamerika [EWART, 1979]).
- Peralkali-Rhyolithe kontinentaler Gräben (z. B. Kenia [WEAVER et al., 1972]).
- Peralkali-Rhyolithe ozeanischer Inseln (z. B. Azoren [WHITE et al., 1979]).

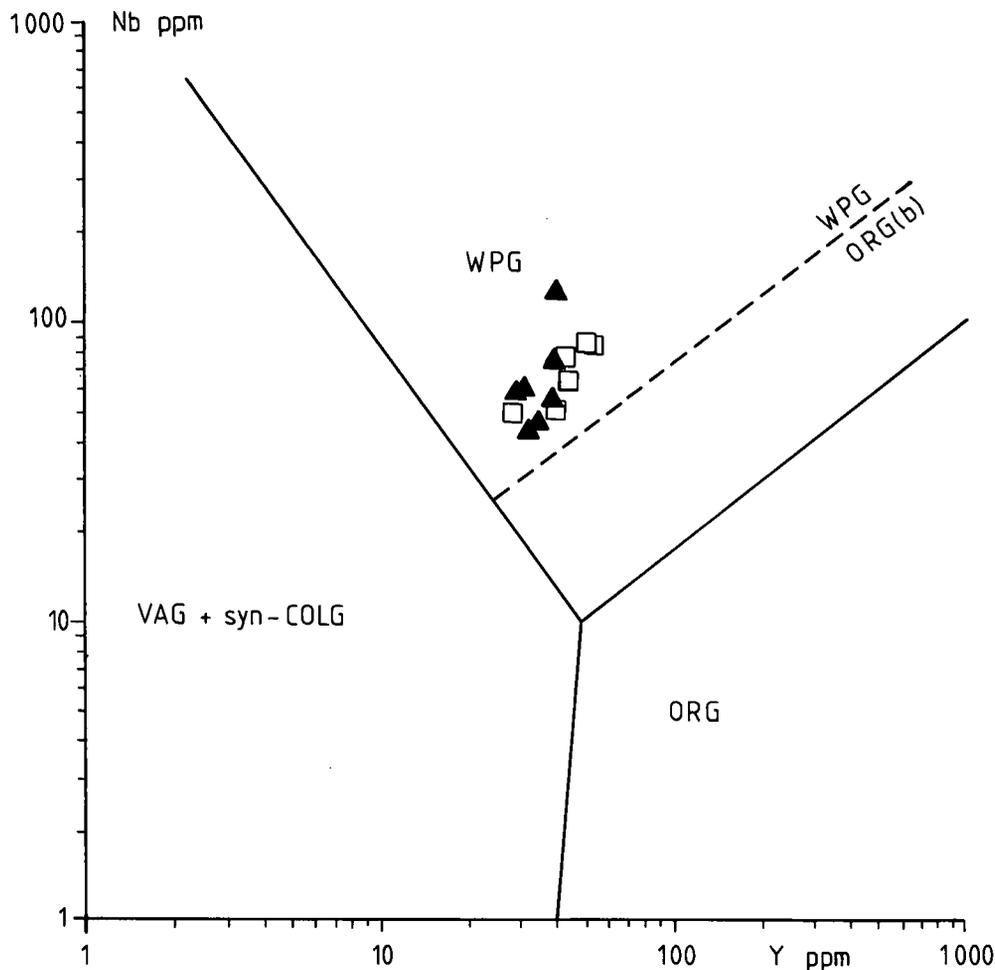


Abb. 8.
Nb-Y-Diagramm nach PEARCE et al. (1984) für 13 helle Metavulkanite aus der südlichen Saualpe, die mehr als 58 % SiO₂ enthalten. Symbole wie auf Abb. 5. WPG = Intraplatten-Granite; ORG = Granite mittelozeanischer Rücken; VAG = Inselbogen-Granite; COLG = Granite aus Kollisionen. Die gestrichelte Linie stellt die Obergrenze von Graniten dar, die auf an inkompatiblen Elementen angereicherten mittelozeanischen Rücken vorkommen.

Außerdem, sind die Nb- und Zr-Werte von Rhyolithen eingezeichnet, die in Bruchzonen auf Inselbögen (Mayor Island, Neuseeland [EWART et al., 1968], MI), auf aktiven Kontinentalrändern (Tala Tuff, Mexico [MAHOOD, 1981], TT) und im Rückland von aktiven Kontinentalrändern (Devine Canyon Tuff, Oregon/USA [GREENE, 1973], DC) auftreten. Diese Rhyolithe vermitteln in ihren Nb- und Zr-Gehalten zwischen den Rhyolithen konvergierender Plattengrenzen und solchen von kontinentalen Gräben und ozeanischen Inseln. Sie haben Zr-Gehalte von mehr als 350 ppm und Nb-Gehalte, die etwa bei 30 bis 100 ppm liegen.

Die Zr- und Nb-Gehalte der SiO₂-reichen Metavulkanite der südlichen Saualpe liegen nun genau auch in diesem Feld. Ihre Zr- und Nb-Gehalte sind höher als diejenigen von kalkalkalischen Rhyolithen aktiver Kontinentalränder, aber niedriger als die Zr- und Nb-Gehalte von Peralkali-Rhyolithen ozeanischer Inseln und kontinentaler Gräben. Sie erreichen die Zr- und Nb-Gehalte des Tala-Tuffs von Mexico.

Es sei dahingestellt, ob die Darstellung auf Abb. 9 wirklich repräsentativ und aussagekräftig ist. Immerhin fällt auf, daß die SiO₂-reichen Metavulkanite der südlichen Saualpe ähnliche geochemische Charakteristika haben wie Rhyolithe aus Dehnungszonen über konvergierenden Plattengrenzen.

Peralkali-Rhyolithe sind im rezenten Bereich auch teilweise mit Andesiten verknüpft, so z. B. auf der Insel D'Entrecasteaux nördlich von SE-Papua, wo sie den Wechsel von einem älteren durch Subduktion gekennzeichneten tektonischen Regime in ein Dehnungsregime unter Bildung eines „Back-Arc“-Beckens markieren

(SMITH et al., 1977). Es ist die Frage, ob die Metavulkanite der südlichen Saualpe nicht auch auf eine ähnliche Änderung im plattentektonischen Beanspruchungsplan hinweisen. Im regionalen Rahmen der Ostalpen würde eine solche Interpretation durchaus sinnvoll sein, da die oberordovizischen Porphyroide der steirischen Grauwackenzone wahrscheinlich Ausdruck von Subduktions- bis Kollisions-Vorgängen sind und die nachfolgenden silurischen und devonischen Vulkanite der Ostalpen alle auf ein Dehnungsregime hindeuten (GIESE, 1987; LOESCHKE et al., 1987). Die Metavulkanite der südlichen Saualpe könnten somit eine solche Änderung anzeigen, die mit einer Reorganisation der Plattenkonfiguration an der Grenze Ordovizium/Silur einhergegangen wäre.

Abschließend lassen sich diese Fragen nicht klären, da Alkali-Gesteine in sehr verschiedenen geotektonischen Positionen vorkommen und die geochemischen Analysen mehrere Interpretations-Möglichkeiten zulassen. Man kann aber mit Sicherheit feststellen, daß die Metavulkanite der südlichen Saualpe keine Ähnlichkeiten mit kalkalkalischen Vulkaniten konvergierender Plattengrenzen haben, sondern Alkali-Gesteine darstellen.

Dank

Die Haupt- und Spurenelementanalysen wurden im geochemischen Zentrallabor der Universität Tübingen (Leiter: Prof. Dr. H. FRIEDRICHSEN, Analytikerin: M. FETH) durchgeführt. Dafür sei herzlich gedankt. Für hilfreiche Diskussionen danke ich Herrn Prof. Dr. W. FRISCH und Herrn Prof. Dr. J. NEUGEBAUER (Tübingen). Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte die Untersuchungen dankenswerterweise durch eine Sachbeihilfe.

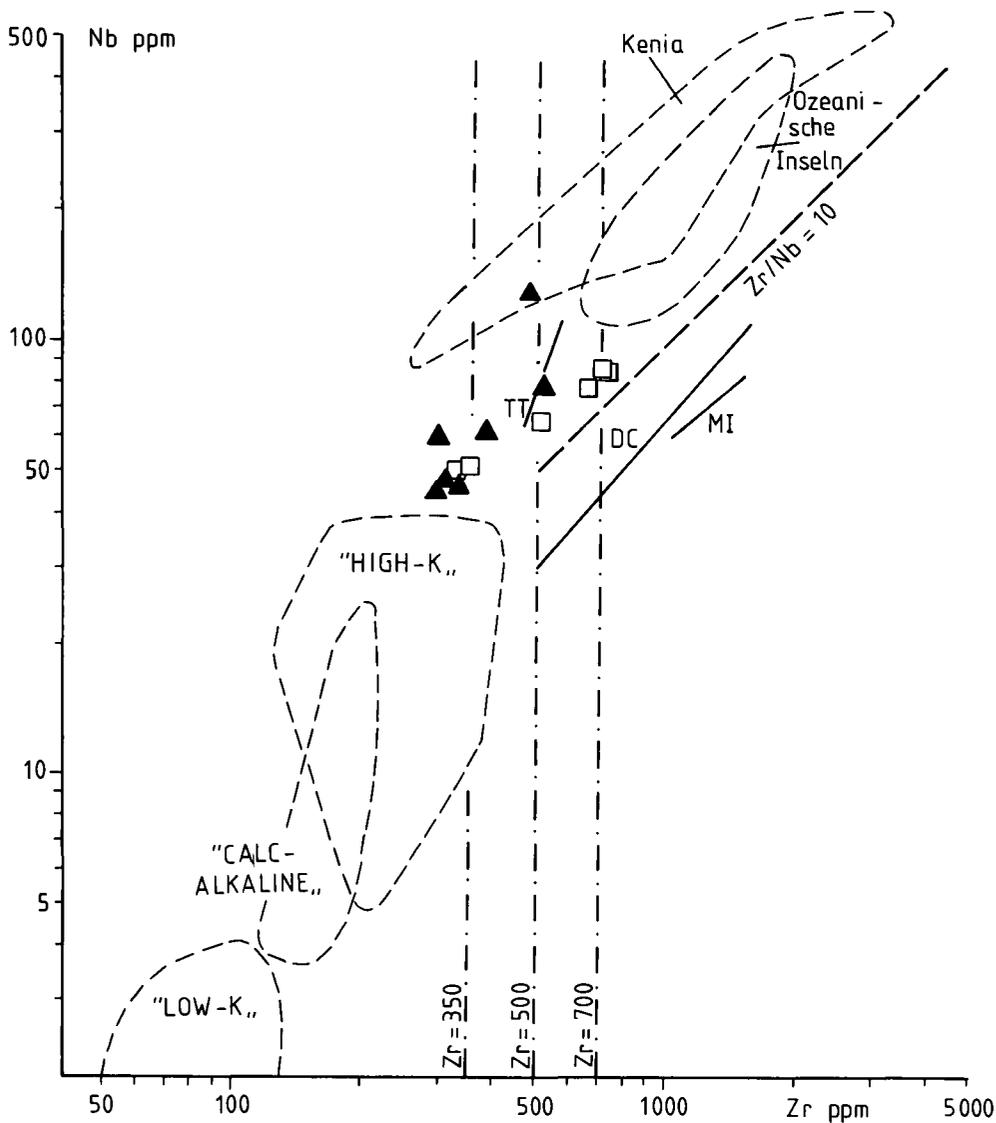


Abb. 9.
Nb-Zr-Diagramm nach LEAT et al. (1986) für 13 helle Metavulkanite aus der südlichen Saualpe, die mehr als 58 % SiO₂ enthalten. Symbole wie auf Abb. 5. Zum Vergleich sind die Felder subalkalischer Rhyolithe mit niedrigen, mittleren und hohen K-Gehalten („Low-K“, „Calc-Alkaline“, „High-K“ nach EWART, 1979) und peralkalischer Rhyolithe der ostafrikanischen Gräben (Kenia) und ozeanischer Inseln mit eingetragen. TT = Tala Tuff, Mexiko (MAHOOD, 1981); DC = Devine Canyon Tuff, Oregon/USA (GREENE, 1973); MI = Mayor Island, Neuseeland (EWART et al., 1968). Nähere Erläuterung siehe Text.

Literatur

- BAKER, P. E.: Geochemical evolution of St. Kitts and Montserrat, Lesser Antilles. – *J. geol. Soc. London*, **141**, 401–411, 1984.
- BARBERI, F., FERRARA, G., SANTACROCE, R. et al.: A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallization, the Boina centre (Afar Rift, Ethiopia). – *J. Petrol.*, **16**, 22–56, 1975.
- EWART, A.: A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary-Recent dacitic, latitic, rhyolitic, and related salic volcanic rocks. – In: BARKER, F. (Hrsg.): *Trondhjemites, dacites, and related rocks*, 13–121, Amsterdam (Elsevier) 1979.
- EWART, A., TAYLOR, S. R. & CAPP, A. C.: Geochemistry of the pantellerites of Mayor Island, New Zealand. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **17**, 116–140, 1968.
- FRISCH, W. & LOESCHKE, J.: *Plattentektonik*. – 190 S., Darmstadt (Wiss. Buchges.) 1986.
- GIESE, U.: *Altpaläozoischer Vulkanismus am NW-Rand der Gurktaler Decke – Geologie, Petrologie, Geochemie*. – 227 S., unveröff. Diss., Univ. Tübingen.
- GREEN, R. C.: Petrology of the welded tuff of Devine Canyon, southeastern Oregon. – *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, **797**, 1–26, 1973.
- HUGHES, C. J.: *Igneous petrology*. – 551 S., Amsterdam (Elsevier) 1982.

HURLER, H.: *Geochemie und Petrographie der Metakeratophyre in der südlichen Saualpe (Kärnten)*– 67 S., Diss., Univ. Tübingen 1972.

KLEINSCHMIDT, G.: *Metamorphose und Stratigraphie im Kristallin der südlichen Saualpe (Ostalpen)*. – *Abh. Verh. naturwiss. Ver. Hamburg, N. F.*, **14**, 81–144, 1970.

KLEINSCHMIDT, G., NEUGEBAUER, J., & SCHÖNBERG, R.: *Gesteinsinhalt und Stratigraphie der Phyllitgruppe in der Saualpe*. – In: PILGER, A., SCHÖNBERG, R. & WEISENBACH, N. (Hrsg.): *Geologie der Saualpe*, *Clausth. geol. Abh., Sdbd. 1*, 11–44, 1975.

LEAT, P. T., JACKSON, S. E., THORPE, R. S. et al.: *Geochemistry of bimodal basalt-subalkaline/peralkaline rhyolite provinces within the southern British Caledonides*. – *J. geol. Soc. London*, **143**, 259–273, 1986.

LODEMANN, C. K. W.: *Gerichtete Stoffverschiebungen bei der Regionalmetamorphose an Metabasiten der Saualpe in Ostkärnten*. – *N. Jb. Miner. Abh.*, **118**, 134–148, 1973.

LOESCHKE, J.: *Kaledonischer eugeosynklinaler Vulkanismus Norwegens und der Ostalpen im Vergleich mit rezentem Vulkanismus unterschiedlicher geotektonischer Positionen: Eine Arbeitshypothese*. – *Zeitschr. deutsch. geol. Ges.*, **128**, 185–207, 1977.

LOESCHKE, J.: *Zur Geochemie von Paläovulkaniten und ihrer Bedeutung für die Geodynamik*. – *Clausth. geol. Abh.*, **30**, 133–145, 1979.

- LOESCHKE, J., GIESE, U., KLEFE, P. et al.: Charakterisierung vulkanischer Folgen und deren geodynamische Bedeutung im Paläozoikum der Ostalpen. – 71 S., DFG-Bericht, unveröff., Tübingen 1987.
- MAHOOD, G. A.: Chemical evolution of a Pleistocene rhyolitic center: Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **77**, 129–149, 1981.
- MASON, B. & MOORE, C. B.: *Principles of geochemistry*. – 350 S., Chichester (Wiley) 1982.
- MISRA, S.: Chemical distinction of high-grade ortho- and parametabasites. – *Norsk geol. Tidsskr.*, **51**, 311–316, 1971.
- MULLEN, E. D.: MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discrimination for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**, 53–62, 1983.
- NAKAMURA, E., CAMPBELL, I. & SUN, S.: The influence of subduction processes on the geochemistry of Japanese alkaline basalts. – *Nature*, **316**, 55–58, 1985.
- NEUGEBAUER, J.: Alt-paläozoische Schichtfolge, Deckenbau und Metamorphose-Ablauf im südwestlichen Saualpen-Kristallin (Ostalpen). – *Geotekt. Forsch.*, **35**, 23–93, 1970.
- NORRISH, K. & CHAPPELL, B. W.: X-ray fluorescence spectrometry. – In: ZUSSMAN, J. (Hrsg.): *Physical methods in determinative mineralogy*, 201–277, London (Academic Press) 1977.
- PEARCE, J. A.: Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. – In: THORPE, R. S. (Hrsg.): *Andesites*, 525–548, Chichester (Wiley) 1982.
- PEARCE, J. A.: A "user's guide" to basalt discrimination diagrams. – 37 S., unveröff. Ber., The Open Univ., Milton Keynes 1983.
- PEARCE, J. A., HARRIS, N. & TINDLE, A.: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. – *J. Petrol.*, **25**, 956–983, 1984.
- PEARCE, J. A. & NORRY, M. J.: Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **69**, 33–47, 1979.
- PILGER, A., SCHÖNENBERG, R. & WEISSENBACH, N. (Hrsg.): *Geologie der Saualpe*. – *Clausth. geol. Abh., Sdbd.* **1**, 232 S., 1975.
- PILGER, A., SCHÖNENBERG, R., FRITSCH, W. et al.: *Geologische Karte der Saualpe, Süd (Kärnten)*, 1 : 25.000, Wien 1978.
- SHAW, D. M.: The origin of the Apsley Gneiss, Ontario. – *Canad. J. Earth sci.*, **9**, 18–35, 1972.
- SMITH, I. E. M., CHAPPELL, B. W., WARD, G. K. et al.: Peralkaline rhyolites associated with andesitic arcs of the Southwest Pacific. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **37**, 230–236, 1977.
- TOLLMANN, A.: *Geologie von Österreich – Bd. I. Die Zentralalpen*. – 766 S., Wien (Deuticke) 1977.
- WEAVER, S. D., SCEAL, J. S. C. & GIBSON, I. L.: Trace element data relevant to the origin of trachytic and pantelleritic lavas of the East African Rift System. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **36**, 181–194, 1972.
- WHITE, W. M., TAPIA, M. D. M. & SCHILLING, J. G.: The petrology and geochemistry of the Azores Islands. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **69**, 201–213, 1979.
- WHITFORD, D. J., NICHOLLS, I. A. & TAYLOR, S. R.: Spatial variation in the geochemistry of Quaternary lavas across the Sunda arc in Java und Bali. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**, 341–356, 1979.
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A.: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. – *Chem. Geol.*, **20**, 325–343, 1977.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 8. April 1988.