©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016-7800	Band 131	Heft 2	S. 267-278	Wien, August 1988

Ausgewählte Spurenelementdaten von metamorphen basischen Magmatiten aus der Nördlichen Grauwackenzone (Österreich)

Von HELMUT HEINISCH, JAN HERTOGEN & PETRA SCHLAEGEL*)

Mit 5 Abbildungen und 2 Tabellen

Salzburg
Tirol
Steiermark
Kitzbüheler Alpen
Eisenerzer Alpen
Nördliche Grauwackenzone
Geochemie
Seltenerdelemente
Paläozoikum
Basaltvulkanismus
Plattentektonik
Kaledonische Orogenese

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 122, 123, 131, 132, 133

IGCP-Project No. 5
Correlation
of Prevariscan and Variscan Events
of the Alpine-Mediterranean Mountain Belt

Inhalt

Zusammenfassung ... 267
Abstract ... 267
1. Einführung ... 268
2. Regionaler Überblick ... 268
3. Probenauswahl ... 269
4. Meßtechnik ... 269
5. Ergebnisse ... 271
5.1. Alteration der REE ... 271
5.2. Magmencharakter und geotektonische Position ... 273
6. Zusammenfassung und Interpretation ... 276
Literatur ... 276

Zusammenfassung

Aus dem Paläozoikum der Nördlichen Grauwackenzone/ Ostalpen wurden schwachgradig metamorphe basische Magmatite untersucht. Die Proben erfassen repräsentativ den West- und den Ostteil der Nördlichen Grauwackenzone. Aus insgesamt 410 geochemischen Analysen wurden 14 Proben für Messungen der Seltenerdelemente ausgewählt. Die Spurenelement-Geochemie und die Seltenerd-Spektren zeigen übereinstimmende Trends an. Es handelt sich vorwiegend um an inkompatiblen Elementen angereicherte Basalte.

Es lassen sich zwei überregionale Gruppen unterschiedlicher Geochemie abgrenzen:

a) Für den Hauptteil der basischen Magmatite zeichnet sich für West- und Ostteil der Nördlichen Grauwackenzone gemeinsam eine Intraplatten-Position ab. Es besteht gute Übereinstimmung mit Alkalibasalten und „transitional basalts" Ozeanischer Inseln.

b) Lediglich ein Teilbereich innerhalb der westlichen Grauwackenzone (vorderes Saalachtal) erweist sich als geochemisch uneinheitlich. Hier ist eine „back arc"-Position zu diskutieren.

Eine Reihe der publizierten geotektonischen Modelle scheidet aufgrund der neuen Daten für eine Erklärung des paläozoischen Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone aus. So ist u. a. die Existenz eines voll entwickelten ordovizischen Mittelozeanischen Rückens („N-type MORB") sowie eine ordovizische Kollisionsorogenese mit den Gesteinen der Nördlichen Grauwackenzone nicht zu belegen.

Da es sich um die am besten erhaltenen und auch im Volumen bedeutendsten basischen Magmatite im fossilbelegten Paläozoikum der Ostalpen handelt, haben die neuen Daten weitreichende Auswirkungen auf Serienvergleiche mit höher metamorphen Arealen der Ostalpen.

Abstract

Low-grade metamorphosed basaltic magmatites from the Northern Graywacke Zone/ Eastern Alps were investigated. The samples cover representatively the Western and Eastern part of the Northern Graywacke Zone. From a data base of 410 rock analyses 14 samples were selected for rare earth element measurements. Geochemistry of trace elements and rare earth element patterns show concordant trends. Basalts enriched in incompatible elements do prevail.

*) Anschriften der Verfasser: Priv.-Doz. Dr. HELMUT HEINISCH, Dipl.-Geol. PETRA SCHLAEGEL, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München, Luisenstraße 37, D-8000 München 2; Univ.-Prof. Dr. JAN HERTOGEN, Katholieke Universiteit Leuven, Afdeling Fysiko-chemische geologie, Celestijnenlaan 200C, B-3030 Heverlee.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

It is possible to distinguish two groups of different geochemistry, not corresponding to geographical borders:

a) For the major part of the basaltic magmatites an intraplate position is recognized, both for the Western and Eastern part of the Northern Graywacke Zone. The data are in good concordance with alkalibasalts and transitional basalts of oceanic islands.
b) Only one part of the Western Graywacke Zone (vorderes Saalachtal) turned to be geochemically heterogeneous. Here a back arc position can be considered.

A number of the published geotectonical models can be ruled out as not suitable for an explanation of the Paleozoic magmatism of the Northern Graywacke Zone by means of the new data. Indications are found neither for a completely developed Ordovician mid ocean ridge (N-type MORB) nor for an Ordovician collisional orogenic stage.

As the rocks concerned are the best preserved and most voluminous basaltic magmatites within the fossiliferous Paleozoic of the Eastern Alps, the new data do also largely affect lithological correlations with areas of higher metamorphic grade.

1. Einleitung

Das Arbeitsgebiet liegt im Paläozoikum der Nördlichen Grauwackenzone (NGZ, Abb. 1). Es ist somit Teil des variszisch konsolidierten Basements der Ostalpen und nimmt im Grundkonzept der alpinen Deckentektonik eine oberostalpine Position ein (TOLLMANN, 1973). Den Hauptteil der NGZ bilden schwachgradig metamorphe, klastische Gesteine. Diese sind in der westlichen NGZ als Wildschönauer Schiefer, in der östlichen NGZ als feinschichtige Grauwackenschiefer, Silbersbergschichten, etc. bekannt. In diese Klastika sind metamorphe basische Vulkanite und Intrusiva bunter Petrographie eingeschaltet. Es finden sich Pillowbasalte, vielfältige Pyroklastika und epiklastisch umgelagerte Vulkanit-Äquivalente. Auch zahlreiche, meist konkordant und oberflächennah intrudierte Gänge vorwiegend gabbroider Zusammensetzung sind diesem basaltischen Vulkanismus zuzurechnen.

Die Altersstellung dieser dem Volumen nach für das gesamt alpine Paläozoikum bedeutendsten Vorkommen basaltischer Gesteine war im Westteil der NGZ bis in die jüngste Zeit offen. In der Literatur wurde allgemein ein „tiefordovizisches Alter" angenommen (MOSTLER, 1984). Vor kurzem gelang an Carbonaten in Wechsellagerung mit vulkanogenem Material eine erste biostratigraphische Datierung. Diese ergibt für die basischen Vulkanite im Westteil der NGZ ein hoch-unterdevonisches Alter (HEINISCH et al., 1987). Im Ostteil der NGZ konnte für einen Teil der Vorkommen ein silurisches Alter nachgewiesen werden (SCHÖNLAUB, 1982), andere Vorkommen sind in ihrer Alterszuordnung offen.

Obwohl keine petrographische Detailbearbeitung der Metavulkanite und nur eine geringe Zahl geochemischer Daten vorlag, wurde für das alpine Altpaläozoikum eine größere Anzahl plattentektonischer Modelle entworfen. Das Spektrum der Hypothesen reicht von einer Inselbogensituation auf ozeanischer Kruste (LOESCHKE, 1977), der eines aktiven Kontinentalrandes mit „back-arc spreading" (HÖLL & MAUCHER, 1976), einer durch fortschreitende Dehnungstektonik zerbrechenden präkambrischen kontinentalen Kruste (COLINS et al., 1980) bis zur Bildung einer echten ozeanischen Kruste (Taphrogeosynklinalstadium; MOSTLER, 1983, 1984). Aus Untersuchungen an der Lagerstätte Kalwang (östliche NGZ) folgerten SCHÄFFER & TARKIAN (1984) einen kontinentalen Riftbereich mit beginnender Ozeanisierung. In einem zusammenfassenden Modell wurde schließlich von FRISCH et al. (1984) ein komplexer Ereignisablauf von Krustendehnung und Ozeanbodenbildung im ausgehenden Präkambrium (700–480 Ma), kaledonischer Subduktion und Kollision (480–460 Ma) erneuter Krustendehnung und Ozeanbodenbildung (Mittel-Ordovizium bis tieferes Karbon), variszischer Subduktion und Kollision (Karbon, Perm) entworfen.

Wichtigster Diskussionspunkt der in ihrer Aussage stark divergierenden geotektonischen Modelle ist die Frage der Existenz eines kompletten kaledonischen Orogenzyklus im alpinen Paläozoikum (vgl. HEINISCH & SCHMIDT, 1976; HEINISCH, 1986).

Neben einer Altersdatierung der vulkanischen Gesteine ist eine umfassende geochemische Bearbeitung wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung derartiger synoptischer Modelle.

Die hier vorgestellten ersten Seltenerdelement-Daten einer kleinen repräsentativen Probenauswahl (vgl. 3) können bereits wesentliche Hinweise zur Beurteilung der bestehenden, sich widersprechenden geotektonischen Hypothesen zum alpinen Paläozoikum geben.

2. Regionaler Überblick

Nach HEINISCH (1986) ist der Bereich der westlichen NGZ (Abb. 1) in zwei faziell völlig unterschiedliche Großeinheiten zu gliedern, die Wildseeloder-Einheit und die Glemmtal-Einheit. Erstere ist im Ordovizium durch subaerische Porphyroide und im Silur und Devon durch mächtige Carbonatgesteinsabfolgen charakterisiert. Die durch eine Deckenbahn abgetrennte Glemmtal-Einheit umfaßt die Hauptmenge der Wildschönauer Schiefer (vgl. 1). Nur hier tritt der basische Magmatismus auf.

Die basischen Magmatite der westlichen NGZ werden zwei Bereichen unterschiedlicher Entwicklung zugeordnet (SCHLAEGEL, 1988): Im vorderen Saalachtal (Raum Viehhofen – Maishofen) treten zu den mächtigen (max. 200 m) basaltischen Laven und gabbroiden Lagergängen (Mächtigkeiten im m-Bereich) auch intermediäre Intrusiva einer vermutlich höheren stratigraphischen Position. Das hintere Saalachtal (i.w. Raum Saalbach – Hinterglemm) zeigt als typische Entwicklung mächtige Pillowbasaltstapel (max. 350 m), die lateral und vertikal mit mächtigen Vulkaniklastika verzahnen. Neben gabbroiden Ganggesteinen treten auch Pyroxenite auf.

Die basischen Magmatite der östlichen NGZ (Abb. 1) verteilen sich auf 8 räumlich voneinander getrennte Hauptverbreitungsgebiete zwischen Admont und Bruck a. d. Mur. Auch hier finden sich Pillowbasaltabfolgen (Mächtigkeit max. 100 m), und bunte Vulkaniklastika sowie gabbroide Ganggesteine. Teilweise ist der primärmagmatische Charakter der Gesteine nicht mehr interpretierbar („Grünschiefer"). Der Großteil der Vorkommen gehört dem System der Norischen Decke an, aus der Veitscher Decke sind kaum basische Magmatite bekannt. Aufgrund fehlender Detailkartierungen ist die Zuordnung jedoch nicht immer klar.

Die Gesteine der NGZ sind zweifach (variszisch und alpidisch) metamorph. Die Metamorphose hat die „Low-Grade" Stufe nicht überschritten. Generell sind

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

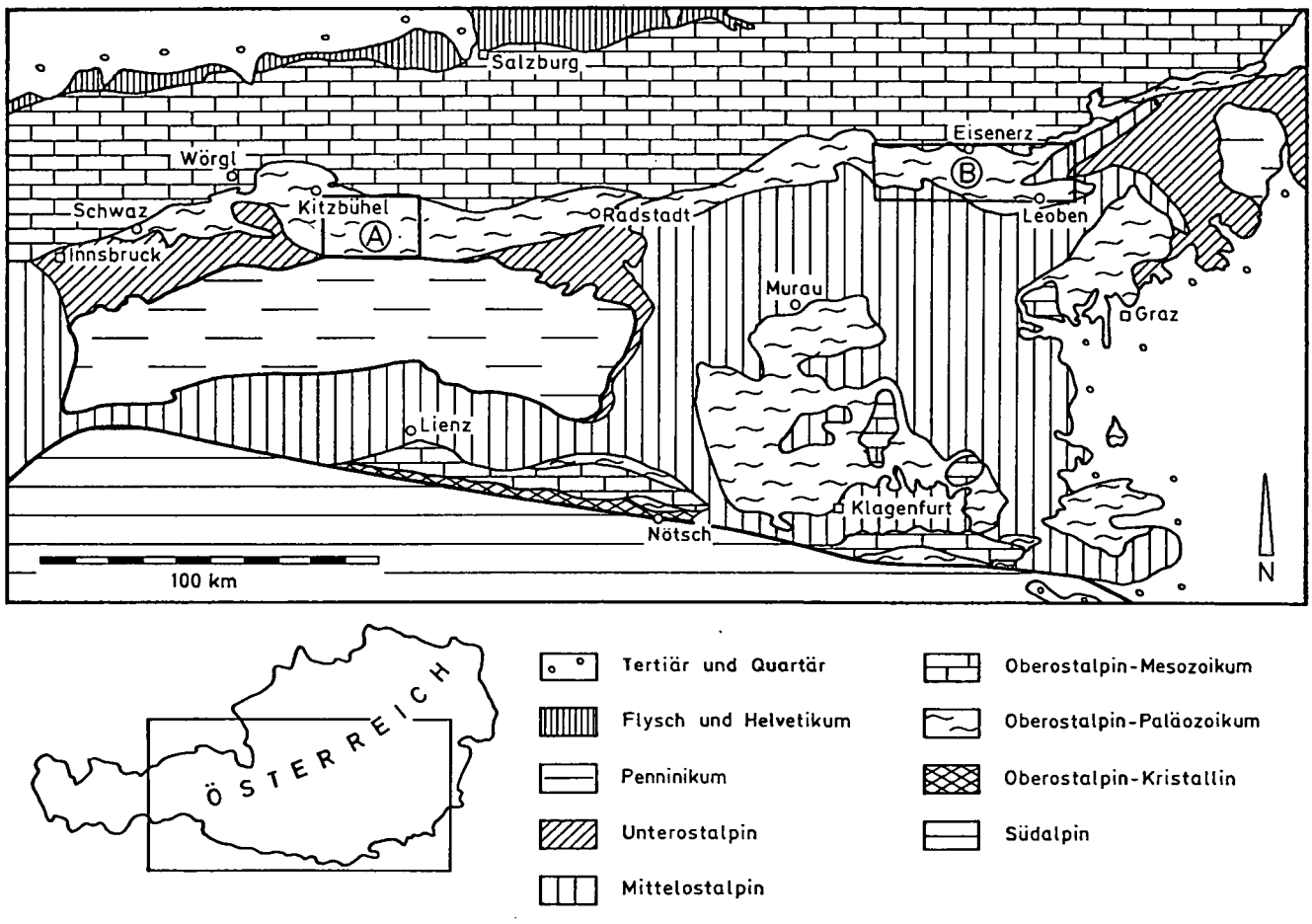


Abb. 1.
Geologische Übersichtskarte der Ostalpen (nach BÖGEL & SCHMIDT, 1976; vereinfacht).
Arbeitsgebiete: A = westliche Nördliche Grauwackenzone; B = östliche Nördliche Grauwackenzone.

die Gesteine der westlichen NGZ besser erhalten (primärmagmatische Gefüge und Minerale oft gut überliefert) als die stärker in Durchbewegung und Metamorphose einbezogenen Gesteine der östlichen NGZ (primärmagmatische Gefüge zum Teil, Minerale selten überliefert; vgl. Tab. 1).

3. Probenauswahl

Der basische Magmatismus der NGZ wurde im Rahmen eines DFG-Forschungsprogramms (LMU München) erstmals in seinem vollen Umfang aufgenommen. Eine umfassende Bearbeitung nach petrographischen, vulkanologischen und geochemischen Gesichtspunkten (Haupt- und Spurenelementanalysen ohne REE) steht vor dem Abschluß (SCHLAEGEL, 1988). Von einigen wenigen repräsentativen Proben konnten Analysen der Seltenerdelemente (REE) erstellt werden. Dazu wurden in einer ersten Meßreihe aus insgesamt 410 Proben 14 typische Vertreter ausgewählt. Sie gehören vorwiegend den Basaltlaven und Intrusivgesteinen an, da diese die am wenigsten durch Alterationseinflüsse veränderten Probengruppen darstellen (SCHLAEGEL, 1988). Anhand von zwei Proben pyroklastischen Materials (primär vorwiegend glasig) und einer stark hydrothermal beeinflußten Basaltprobe sollte zusätzlich die Mobilität insbesondere der REE überprüft werden. Tab. 1 enthält eine Kurzcharakteristik der Proben.

Aus der östlichen NGZ konnten vorerst nur die drei wichtigsten Untersuchungsgebiete und nur Gesteine mit relativ gut erhaltenem Primärgefüge berücksichtigt werden. Die Gruppe der „Grünschiefer" wird hier nicht betrachtet.

4. Meßtechnik

Die Elementgehalte an Sc, Cr, Co, Ba, REE, Hf, Ta und Th wurden mit Hilfe der Instrumentellen Neutronenaktivierungsanalyse (INAA) an der K. U. Leuven, Belgien, bestimmt (Analytiker J. HERTOGEN). Zur Analyse wurden aus 800 mg Probenpulver hergestellte Preßtabletten verwendet. Die Proben wurden 7 Stunden in einem thermischen Neutronenstrom von ca. 10^{12}n.cm^{-2}sec^{-1} (Thetis Reaktor, Universtität Gent, Belgien) bestrahlt. Die Messung der Gammastrahlenintensitäten erfolgte mit einem großvolumigen Ge(Li)-Detektor und einem hochreinen Ge-Detektor für niederenergetische Photonen in Intervallen von 7 und 20–30 Tagen nach der Bestrahlung. Die Konzentrationen wurden relativ zu einem hausinternen Alkalibasalt-Standard bestimmt, der wiederholt gegen die Referenzprobe USGS BCR-1 kalibriert wurde.

Zn, Rb, Sr, Y, Zr und Nb wurden anhand von Pulverpreßtabletten (3 g) mit einem energiedispersiven Röntgen-Fluoreszenz-Analyse-System (EDRFA) an der K. U. Leuven (Analytiker J. HERTOGEN), SiO_2, TiO_2, K_2O und

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Tabelle 1.
Kurzcharakteristik der auf Seltenerdelemente analysierten Proben aus der Nördlichen Grauwackenzone.

	Gebiet	Pr.Nr.	Lokalität (Kartenblatt)*	Gestein	Gesteins-gruppe	Gefüge u. primär-magmatische Minerale	Metamorphose: Stufe	Metamorphose: met. Minbest.	strat. Position
westliche NGZ	vorderes Saalachtal	K 2	Viehhofen Salersbach R: 05625 (123) H: 46000	feinkörniger Lagergang	intermediäre Ganggesteine	intersertale Struktur aus hypidiomorphen Feldspatleistchen		primärmagmatische Gefüge gut erhalten Fsp.: serizitisiert, poikiloblastisch durchwachsen Pseudomorphosen (Chl., Epi., Ser.) nach Px, Fsp, (Ol?) metam. Min: Chl., Epi., Ser., Albit	unbestimmt
		K 30	Viehhofen Salersbach R: 05720 (123) H: 46075	"	"	"			
		K 62	Maishofen Ammeralm R: 12040 (123) H: 46840	grobkörniger Gang	gabbroide Ganggesteine	hypidiomorph körnig P: Cpx + Plag	Low Grade Stage		? oberes U-Devon ?
		KV 7	Maishofen Stbr. Ratzenstein R: 09225 (123) H: 47590	Pillowbasalt	dichte, phäno-kristallarme Basalte	porphyrisch, Grundmasse dicht P: Cpx + Plag			
	hinteres Saalachtal	KP 4	Gaisstein E R: 86600 (122) H: 44525	blasiger Pillowbasalt	blasige, porphyrische Basalte	Grundm. intersertal aus Feldspatleistchen P: Plag. (hypidiom.)			oberes Unterdevon
		KP 6	Gaisstein E R: 86615 (122) H: 44360	"	"	"			
		KP 46	Gaisstein E R: 86650 (122) H: 44410	"	"	"			
		KP 62	Schusterkogel E R: 88235 (122) H: 46100	Tuff	Pyroklastika	rekristallisiert			
		KM 4	Maurerkogel N R: 02070 (123) H: 43810	hydrothermal alterierter Pillowbasalt					
östliche NGZ	Bruck a.d. Mur	EB 5	Kletschachgr. NE R: 59450 (133) H: 55300	Lapillituff	Pyroklastika	stark verschiefert rekristallisiert		primärmagmatische Gefüge schlecht erhalten stark durchbewegt und rekristallisiert (verschiefert) metam. Min: Chl.. Epi., Ser., Hbl., Albit	?
	Kalwang	EK 2	Kraglschinken W R: 62445 (131) H: 62240	grobkörniger Lagergang	gabbroide Ganggesteine	rekristallisiert	Low Grade Stage		Silur
		ET 8	Finzenkogel Top R: 46760 (132) H: 59075	blasenarmer Pillowbasalt	Basalte	porphyrisch P: Fsp.,(hypidiom.) vereinzelt			
	Tro-faiach	ET 31	Schleichberg NE R: 45500 (132) H: 57675	blasenreicher Pillowbasalt	Basalte	rekristallisiert			
		ET 38	Schleichberg NE R: 45475 (132) H: 57610	Basalt	Basalte	porphyrisch P: Plag. (reliktisch)			

* Rechts- und Hochwerte nach der österreichischen Militärkarte (ÖMK) 1:50 000.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Tabelle 2.
Analysentabelle.
SiO_2, TiO_2, K_2O, P_2O_5 in Gew.-% (wasserfreie Summen); Spurenelemente in ppm.

	K 2	K 30	K 42	KV 7	KP 4	KP 6	KP 46	KP 62	KM 4	EB 5	EK 2	ET 8	ET 31	ET 38
SiO2	55,39	56,61	50,21	49,29	50,02	47,92	50,33	50,70	35,51	50,49	49,31	49,97	50,98	49,74
TiO2	2,99	2,58	1,52	1,49	2,44	2,58	2,59	1,98	2,32	2,77	2,96	3,11	2,29	1,81
K2O	0,32	0,24	0,68	1,84	0,26	1,66	0,54	1,33	0,56	1,23	0,24	0,20	2,80	1,10
P2O5	0,44	0,35	0,14	0,19	0,36	0,40	0,42	0,46	0,13	0,65	0,44	0,48	0,52	0,29
V	722,00	533,00	281,00	332,00	447,00	706,00	670,00	528,00	505,00	617,00	627,00	857,00	249,00	293,00
Cr	34,00	30,00	564,00	359,00	98,00	93,00	77,00	375,00	559,00	85,00	404,00	23,00	107,00	292,00
Rb	17,00	16,00	13,00	48,00	3,00	31,00	9,00	24,00	55,00	26,00	12,00	3,00	42,00	23,00
Sr	377,00	381,00	298,00	192,00	220,00	228,00	148,00	182,00	233,00	382,00	251,00	208,00	559,00	151,00
Y	54,00	52,00	26,00	27,00	26,00	28,00	26,00	24,00	29,00	32,00	23,00	28,00	28,00	22,00
Zr	394,00	368,00	108,00	117,00	190,00	207,00	192,00	151,00	302,00	257,00	145,00	220,00	166,00	144,00
Nb	52,00	46,00	11,00	12,00	37,00	39,00	37,00	32,00	59,00	58,00	28,00	39,00	42,00	26,00
Sc	26,20	23,90	45,90	39,90	27,30	28,40	26,30	29,10	32,40	20,30	27,20	24,90	29,80	29,80
Ba	756,00	784,00	275,00	612,00	120,00	375,00	120,00	331,00	421,00	236,00	100,00	140,00	560,00	603,00
Hf	9,70	8,80	3,10	3,20	4,70	5,00	4,60	3,90	7,20	5,90	3,62	5,40	4,20	3,70
Ta	3,37	2,98	0,68	0,71	2,36	2,51	2,36	1,98	3,88	3,51	1,72	2,37	2,58	1,66
Th	8,70	7,80	2,00	2,00	3,40	3,60	3,50	3,50	4,20	7,20	2,70	3,50	4,50	2,80
La	39,90	41,10	10,30	10,30	24,90	28,30	25,50	24,40	36,90	46,60	20,50	29,50	33,10	20,20
Ce	91,00	92,00	24,90	25,60	56,80	62,00	56,20	51,80	86,00	94,00	44,10	66,00	67,00	44,50
Nd	46,90	47,20	14,90	15,30	29,80	31,30	29,00	26,30	47,40	42,30	23,70	34,20	30,60	22,10
Sm	10,90	10,60	4,12	4,23	6,48	6,84	6,40	5,72	9,90	8,80	5,37	7,55	6,40	5,20
Eu	2,93	2,86	1,26	1,29	2,16	2,22	1,94	1,94	2,95	2,82	1,91	2,59	2,25	1,63
Tb	1,89	1,74	0,77	0,85	0,99	1,04	0,99	0,89	1,15	1,24	0,88	1,18	1,02	0,86
Yb	5,30	4,90	2,78	2,95	2,39	2,63	2,40	2,02	2,04	2,61	2,02	2,57	2,38	1,98
Lu	0,80	0,72	0,42	0,45	0,34	0,35	0,33	0,28	0,28	0,39	0,30	0,36	0,35	0,30
La/Ta	11,84	13,89	15,51	14,51	10,55	11,27	10,81	12,32	9,51	13,28	11,92	12,45	12,38	12,17
Hf/Ta	2,88	2,95	4,56	4,51	1,99	1,99	1,95	1,97	1,86	1,68	2,10	2,28	1,63	2,23

P_2O_5 anhand von Schmelztabletten (2 g Probensubstanz, Flußmittel Lithiumtetraborat) mit der EDRFA in München (Analytiker K. WEBER-DIEFENBACH) bestimmt. Details zur Analytik finden sich bei VANLERBERGHE & HERTOGEN (1986) bzw. WEBER-DIEFENBACH (1979) und HAHN-WEINHEIMER et al. (1984).

Die Chondritnormierung erfolgte mit den an der K. U. Leuven gebräuchlichen Werten (La: 0,34; Ce: 0,89; Nd: 0,65; Sm: 0,209; Eu: 0,0806; Gd: 0,28; Tb: 0,052; Ho: 0,079; Tm: 0,036; Yb: 0,225; Lu: 0,035).

In Tab. 2 sind die verwendeten Analysenwerte zusammengestellt, die vollständigen Analysen finden sich in SCHLAEGEL (1988).

5. Ergebnisse

5.1. Alteration der REE

Über die Mobilität der REE während Ozeanbodenalteration, Regionalmetamorphose und Verwitterung liegen erst sehr wenige Daten vor (FLEET, 1984; HUMPHRIES, 1984). Viele Autoren sehen neben einigen anderen Spurenelementen die REE als die am wenigsten mobilen Elemente und daher als besonders geeignet für die Entschlüsselung der Genese alterierter Sequenzen an (z. B. HAJASH, 1984; PEARCE & CANN, 1973; SUN & NESBITT, 1978). Daß die REE, abhängig vom komplexen Zusammenwirken verschiedener Faktoren während der Alterationsprozesse, sowohl ein stabiles als auch mobiles Verhalten zeigen können, beschreiben HUMPHRIES (1984), HELLMAN & HENDERSON (1977) und MENZIES et al. (1977).

Für die Gesteine der NGZ (Abb. 2) ergibt sich anhand eines Vergleichs mit chondritnormierten Verteilungsmustern rezenter Basalte (vgl. z. B. „anomaleous ridge segments" [SAUNDERS, 1984]) eine sehr gute Korrelierbarkeit der Verteilungskurven. Nach WOOD et al. (1976) spielen Glasanteil und Mineralinhalt eine entscheidende Rolle hinsichtlich der sekundären Änderungen im REE-Gehalt. Bei den untersuchten Proben zeigt sich kein Unterschied zwischen den primär holokristallinen Lagergängen und den primär glashaltigen Laven. Auch die beiden Proben aus pyroklastischem Material, aufgrund der Haupt- und Spurenelementuntersuchungen deutlich stärker vom Stoffaustausch beeinflußt als die übrigen Gesteine (SCHLAEGEL, 1988), zeigen keine abweichenden Muster. Lediglich bei der hydrothermal veränderten Probe läßt die starke Anreicherung der LREE gegenüber den HREE auf sekundäre Beeinflussung schließen (Abb. 2).

Ganz ähnliche Ergebnisse wie die chondritnormierten Verteilungsmuster zeigen auch die MORB-normierten Darstellungen (Abb. 3). Hier wird der Unterschied zwischen mobilen und stabilen Elementen deutlich. Die den Austauschprozessen während der verschiedenen Alterationsvorgänge stark unterworfenen Elemente Sr, K, Rb und Ba (HUGHES, 1982; MOTTL, 1983; MOTTL & HOLLAND, 1978) zeigen stark variierende Gehalte und nicht eindeutig interpretierbare Verteilungsmuster.

Dagegen erweisen sich die Gehalte der allgemein als stabil geltenden Elemente Th bis Cr (Abb. 3; z. B.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

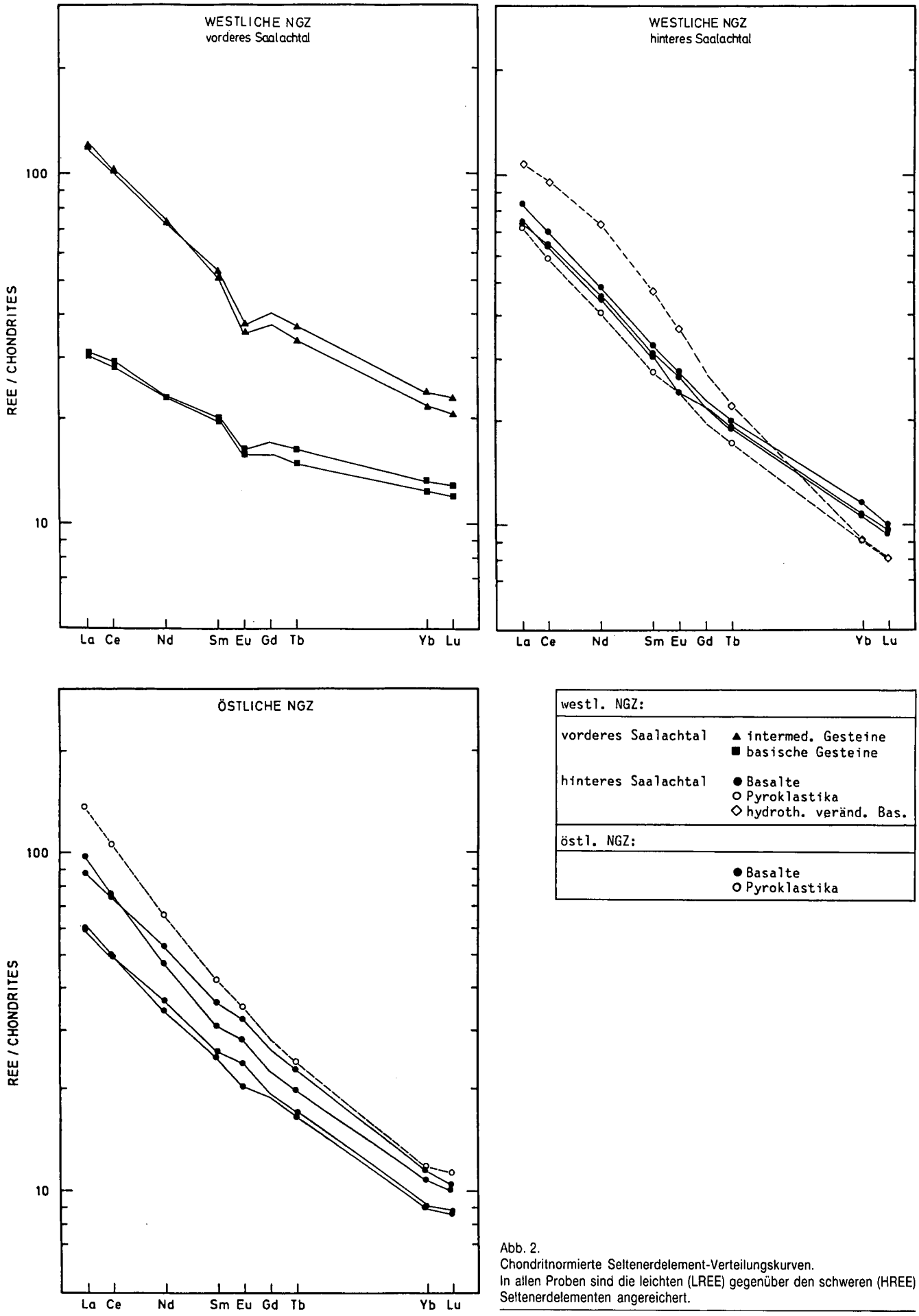


Abb. 2.
Chondritnormierte Seltenerdelement-Verteilungskurven.
In allen Proben sind die leichten (LREE) gegenüber den schweren (HREE) Seltenerdelementen angereichert.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

SAUNDERS & TARNEY, 1984) als homogen und gut mit denen frischer Basalte zu vergleichen.

Aus den Elementverteilungsmustern kann demnach für die metamorphen basischen Gesteine der NGZ auf ein relativ stabiles Verhalten der REE während der verschiedenen Alterationsprozesse geschlossen werden. Anhand dieser Daten werden die für genetische Aussagen relevanten Elemente ausgewählt. Die offensichtlich stark mobilen Elemente Sr, K, Rb und Ba werden dementsprechend nicht zur genetischen Interpretation herangezogen.

5.2. Magmencharakter und geotektonische Position

Basische Magmen, gefördert an unterschiedlichen plattentektonischen Positionen, zeichnen sich durch typische, geochemische Charakteristika aus. Diese können in Elementverteilungsmustern dargestellt werden.

Die chondritnormierten Verteilungsmuster der untersuchten Gesteine (Abb. 2) zeigen eine deutliche Anreicherung der leichten (LREE) gegenüber den schweren Seltenerdelementen (HREE). Derart angereicherte Gesteine können in verschiedenen geotektonischen Positionen auftreten (Inselbögen, „back arc basins", „anomalous ridge segments", Ozeanische Inseln; SAUNDERS, 1984; TARNEY et al., 1981). Klar auszuschließen ist somit für die Gesteine der NGZ der Typ eines „normal mid ocean ridge basalt" („N-type" MORB [SUN et al., 1979]), der sich durch typische, flache REE Verteilungsmuster und geringe Gehalte an LREE auszeichnet.

Nur bei den Gesteinen des vorderen Saalachtals treten kleine, negative Eu-Anomalien auf (Abb. 2). Dies kann als ein Hinweis auf eine primäre Fraktionierung von Plagioklas gewertet werden, während das Fehlen einer Eu-Anomalie (Probengruppen „hinteres Saalachtal" und „östliche Grauwackenzone") auf eine Olivin- bzw. Plagioklas- + Klinopyroxen-kontrollierte Fraktionierung hinweist (HUGHES, 1982; JAKES & GILL, 1970; HANSON, 1980). Damit zeichnen sich in den eng benachbarten Gebieten „vorderes" und „hinteres" Saalachtal unterschiedliche Magmen-Entwicklungstrends ab.

Trotz der vorliegenden geringen Probenzahl werden anhand der Verteilungskurven auch die regionalen Unterschiede deutlich (vgl. 2).

Die Gesteine aus den drei Untersuchungsgebieten der östlichen NGZ sowie die aus dem hinteren Saalachtal (westliche NGZ) verhalten sich ähnlich. Die Kurven fallen von hohen La-Werten kontinuierlich zu niedrigen Lu-Werten ab. Mit einem La/Ta-Verhältnis von im Mittel 11,90 und einem Hf/Ta-Verhältnis von im Mittel 1,97 (Tab. 2) folgen die Gesteine dem „E-type" Entwicklungstrend, der von SAUNDERS (1984) für magmatische Gesteine aus Ozeanbecken als La/Ta ≈10 definiert ist und der sich nach WOOD et al. (1979) in einem Hf/Ta-Verhältnis <7 ausdrückt. Solche Bilder sind typisch für Basalte Ozeanischer Inseln (z. B. Azoren, Hawaii) oder für Basalte aus „anomalous ridge segments" (Azorenplattform, Island; [SAUNDERS, 1984]).

Eine Unterscheidung von „E-type" MORBs und Basalten Ozeanischer Inseln ist nach WOOD et al. (1979) aufgrund des Hf/Ta-Verhältnisses möglich: „E-type" MORBs zeichnen sich durch ein höheres Hf/Ta-Verhältnis aus (Hf/Ta >2) als Basalte Ozeanischer Inseln. Damit liegen die Proben aus dem hinteren Saalachtal noch knapp in dem für Ozeaninselbasalte typischen Bereich, während die Probengruppe „vorderes Saalachtal" den „E-type" MORBs zuzurechnen wäre (vgl. Tab. 2).

Innerhalb der Gesteine aus dem vorderen Saalachtal (westl. NGZ) lassen sich zwei deutlich getrennte Gruppen erkennen (Abb. 2). Die intermediären Ganggesteine sind durch höchste LREE-Werte und eine Anreicherung auch der HREE gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu zeigen die basischen Gesteine eine geringe Anreicherung nur der LREE und damit ein relativ flaches Verteilungsmuster. Während die intermediären Gänge mit La/Ta = 12,9 noch dem „E-type" Trend zuzuordnen sind, nähern sich die basischen Gesteine mit La/Ta = 14,8 dem „N-type" Trend (La/Ta ≈18,5; [SAUNDERS, 1984]) (vgl. Tab. 2). Das Hf/Ta-Verhältnis weist beide Gruppen (Hf/Ta im Mittel 2,92 bzw. 4,45) den „E-type" MORBs zu (vgl. Tab. 2; Hf/Ta für „N-type" MORB: >7, [WOOD et al., 1979]).

Eine gute Unterscheidungsmöglichkeit verschiedener geotektonischer Positionen bieten die MORB-normierten Elementverteilungsmuster (PEARCE, 1982). Wie unter 5.1. ausgeführt, werden die mobilen Elemente Sr, K, Rb und Ba bei der Interpretation dieser Diagramme nicht berücksichtigt.

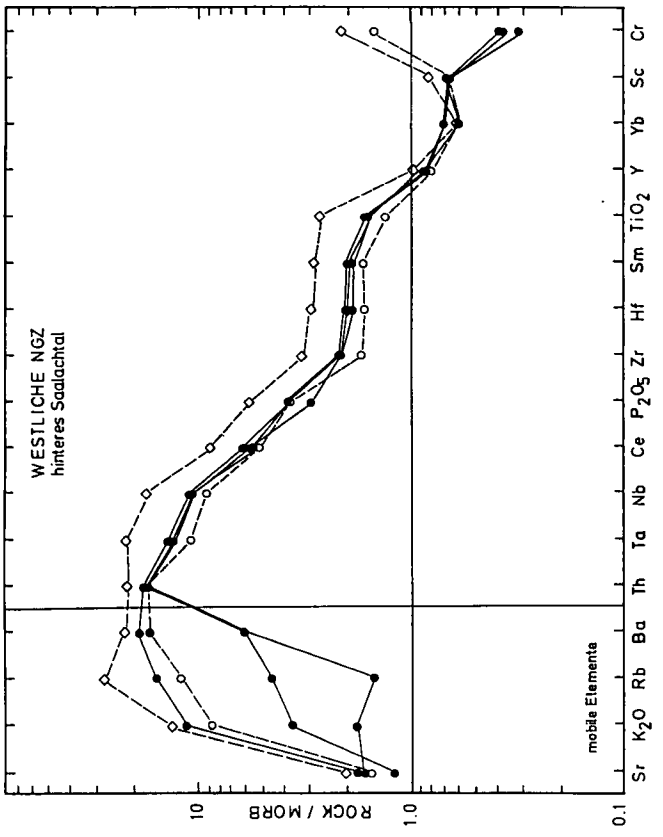
Die MORB-normierten Verteilungsmuster bestätigen die aus der $(REE)_{cn}$-Verteilung resultierende Gruppengliederung. Im Vergleich mit typischen Elementverteilungen von Basalten bekannter geotektonischer Position (Abb. 4; Bas. Volc. Stud. Proj., 1981; PEARCE, 1982; TARNEY et al., 1981) läßt sich der Großteil der untersuchten Gesteine klar zuordnen.

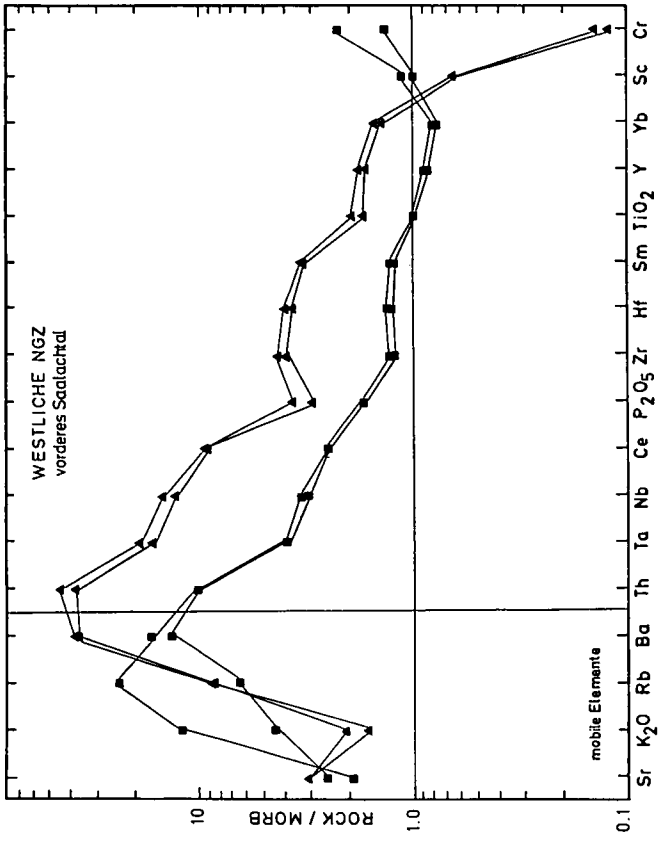
Nach PEARCE (1982) und PEARCE et al. (1984) zeigen Intraplattenbasalte (Basalte Ozeanischer Inseln), ob alkalisch oder tholeiitisch, generell eine Anreicherung der Elemente Th bis Ti. Die stark inkompatiblen Elemente (Nb, Ta, LREE, Th, U, Cs, Rb, Ba, K) sind dabei besonders angereichert (SAUNDERS, 1984). Die Gesteine der östlichen NGZ und die des hinteren Saalachtales (westl. NGZ) entsprechen dem oben beschriebenen Verteilungsmuster. Sie sind daher sehr gut mit Intraplatten-Alkalibasalten zu vergleichen (Abb. 3 und 4b).

Kein eindeutiges Bild ergeben die Gesteine aus dem vorderen Saalachtal (westl. NGZ). Die basischen Anteile zeigen wegen der typisch geringen Gehalte in den Elementen Zr bis Y (Abb. 3) Ähnlichkeiten mit alkalischen MORBs bzw. „transitional" MORBs (Abb. 4a, PEARCE, 1982; TARNEY et al., 1981). Für die intermediären Gesteine läßt sich keine klare Aussage treffen. Im Vergleich zu den anderen Proben zeigen sie in den MORB-normierten Darstellungen für die meisten Elemente deutlich stärkere Anreicherungen (Abb. 3). Aus den Daten kann nicht abgeleitet werden, daß es sich um stärker differenzierte Abkömmlinge der Basalte handelt (vgl. 6). Auch mit den Verteilungsmustern typischer orogener Andesite ergeben sich keine Übereinstimmungen (PEARCE, 1982; TARNEY et al., 1981).

Mit den charakteristischen Verteilungsmustern aus Inselbögen, die sich durch eine selektive Anreicherung einiger bestimmter Elemente auszeichnen und damit typische stark gezackte Verteilungskurven ergeben (Abb. 4c+d; PEARCE, 1982; PEARCE et al., 1984) zeigt sich keine Ähnlichkeit. Außerdem hat wegen der hohen Gehalte an P, Zr, Hf, Sm und Ti keine der untersuchten Proben die Eigenschaften eines typisch tholeiitischen MORBs („N-type" MORB).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at





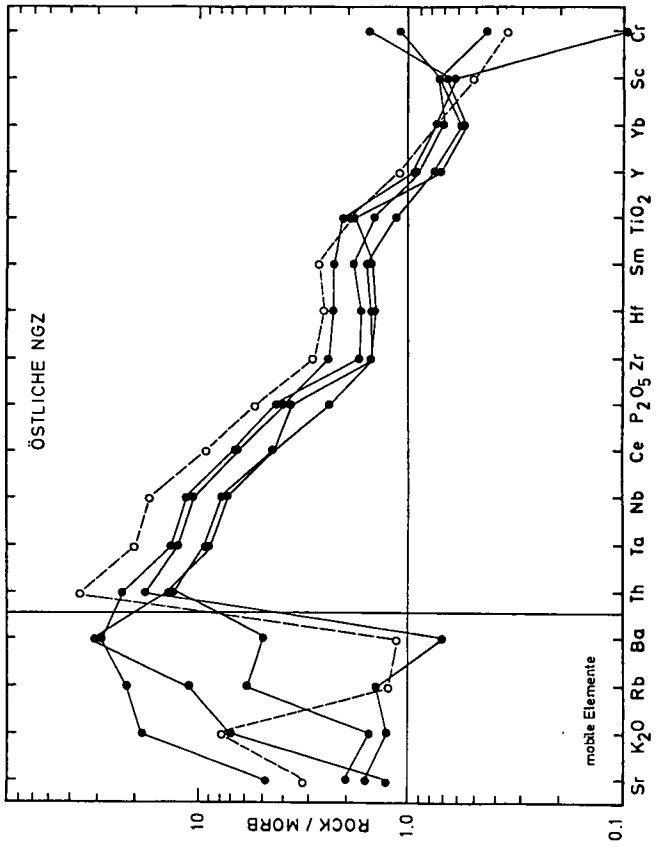


Abb. 3.
MORB-normierte Elementverteilungsmuster (nach PEARCE, 1982).
Legende wie Abb. 2.

Zur weiteren Diskussion werden die Konzentrationsdreiecke nach WOOD (1980) und MESCHEDE (1986) herangezogen.

In diesem Diagramm bestätigen sich die bereits beschriebenen Tendenzen. Die Proben aus der östlichen NGZ und dem hinteren Saalachtal (westl. NGZ) können klar einer Intraplatten-Position zugeordnet werden (Abb. 5). Indifferent verhalten sich wiederum die Proben aus dem vorderen Saalachtal (westl. NGZ). Neben einer eindeutigen Trennung von den übrigen Gesteinen ist eine Tendenz zu Kalkalkalibasalten bzw. eine Aufspaltung in „P-type MORB" (basaltische Anteile) und Intraplatten-Gesteine (intermediäre Anteile) zu beobachten (Abb. 5).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

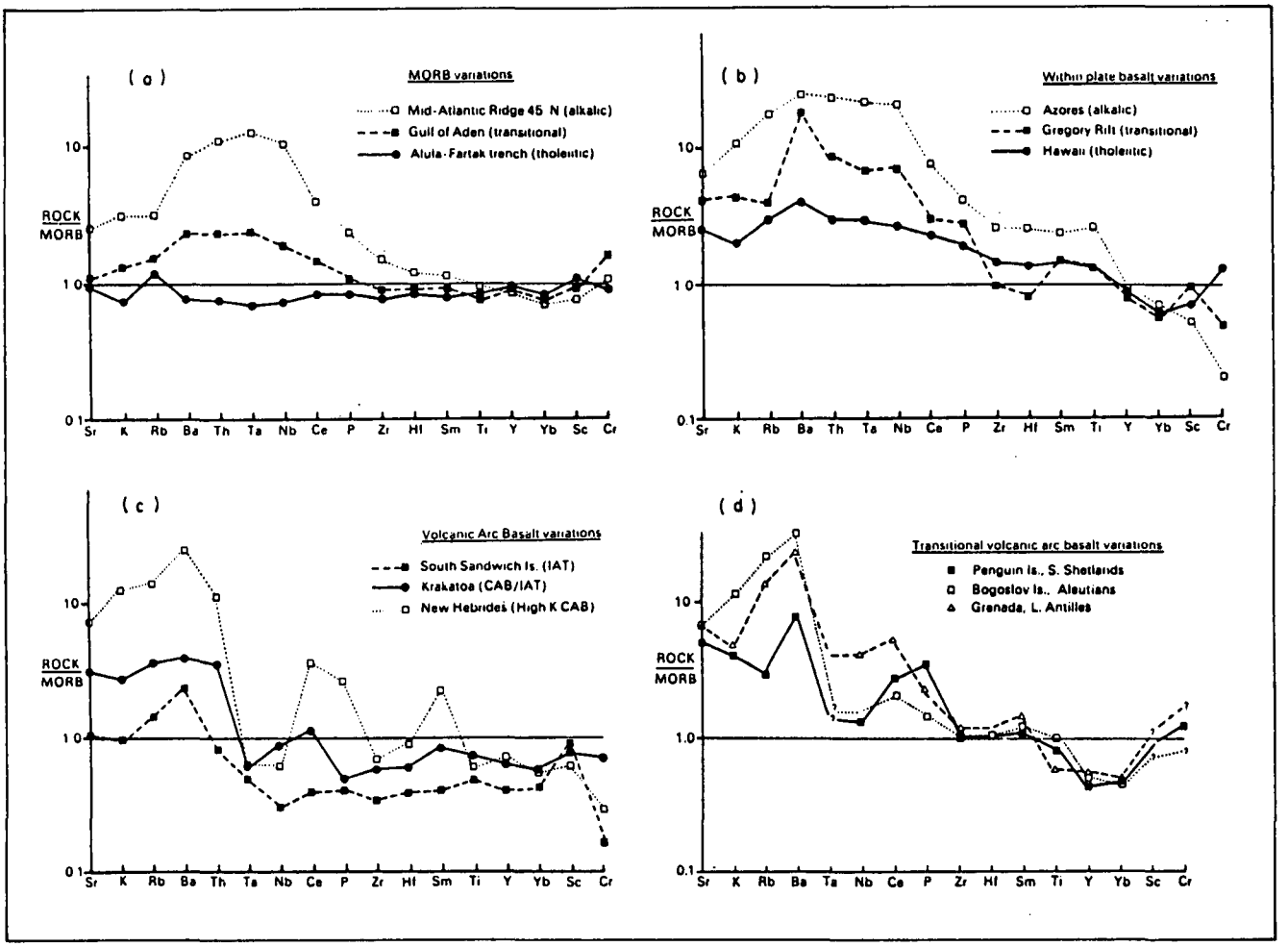


Abb. 4.
Typische MORB-normierte Elementverteilungsmuster von Basalten bekannter geotektonischer Position (aus PEARCE, 1982).

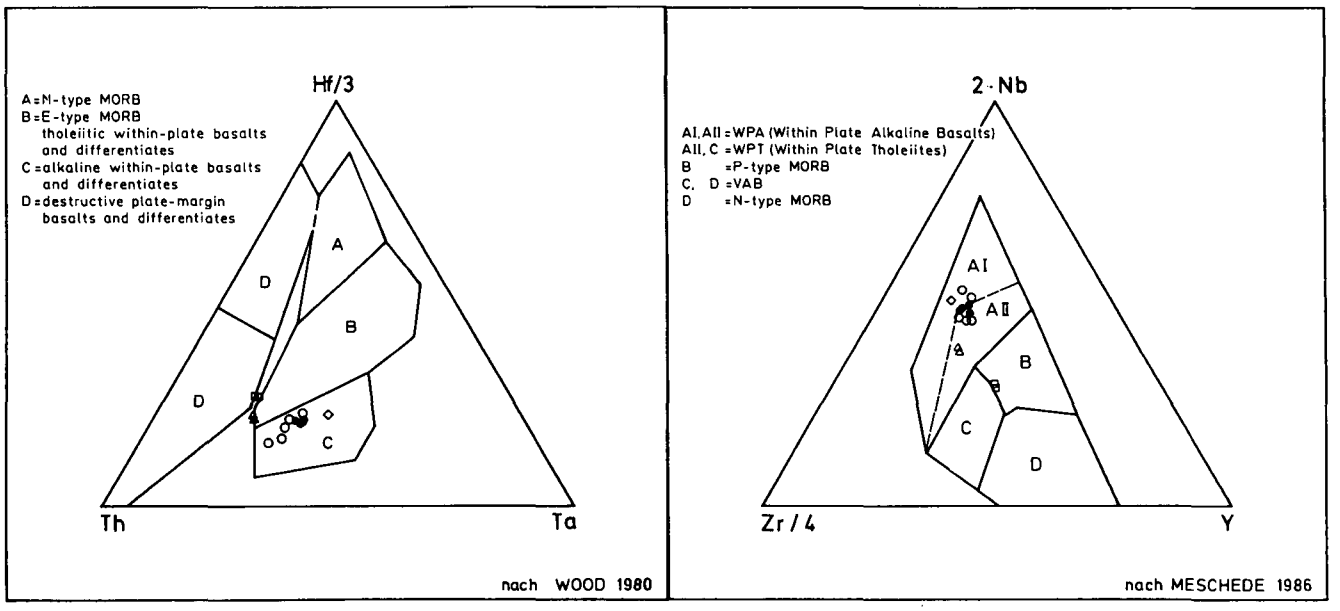


Abb. 5.
Konzentrationsdreiecke Th – Hf/3 – Ta und Zr/4 – 2·Nb – Y.
Die Proben aus der östlichen Nördlichen Grauwackenzone und dem hinteren Saalachtal (westliche nördliche Grauwackenzone) sind als Intraplatten-Basalte ausgewiesen. Die Proben aus dem vorderen Saalachtal sind deutlich abgetrennt und zeigen unterschiedliche Charakteristik.
Westliche Nördliche Grauwackenzone, vorderes Saalachtal: △ = intermediäre Gesteine; □ = basische Gesteine.
Westliche Nördliche Grauwackenzone, hinteres Saalachtal: ● = Basalte + Pyroklastika; ◇ = hydrothermal veränderter Basalt.
Östliche Nördliche Grauwackenzone: ○ = Basalte + Pyroklastika.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

6. Zusammenfassung und Interpretation

Trotz der geringen Probenzahl lassen sich durch die vorliegenden ausgewählten Spurenelementdaten erste wichtige Hinweise für die Genese der basischen Magmatite der NGZ ableiten. Es soll hier nicht auf den Fehler verfallen werden, anhand weniger Daten ein weiteres plattentektonisches Modell für das alpine Paläozoikum zu entwerfen. Aufgrund der vorliegenden Daten scheiden jedoch bereits einige der publizierten Modelle für die Erklärung des basischen Magmatismus der NGZ aus:

Alle untersuchten Gesteine sind an inkompatiblen Elementen angereichert. Damit ist die Klassifizierung als echter tholeiitischer MORB („N-type" MORB) im Sinne von MOSTLER (1984) für die basischen Magmatite der NGZ nicht zu belegen.

Der Gesamtraum wird aufgrund der chemischen Charakteristika der Gesteine in zwei unterschiedlich zu interpretierende Bereiche aufgegliedert, die nicht mit der geographischen Trennung (westl. NGZ, östl. NGZ) zusammenfallen.

- ○ Die Proben aus den östlichen NGZ und aus dem vorderen Saalachtal (westl. NGZ) werden aufgrund der Anreicherung an LREE, Th, P und Ti einer Intraplatten-Position zugeordnet, wie sie KOLMER (1978) für einige Spilite des Grazer und Murauer Paläozoikums vorschlug. Die chemischen Charakteristika stimmen am besten mit denen von Alkalibasalten Ozeanischer Inseln (Hawaii, Azoren) überein.
- ○ Eine Sonderentwicklung stellt der Bereich des vorderen Saalachtals (westl. NGZ) dar. Es treten zwei chemisch unterschiedliche Gesteinsgruppen auf. Wenig angereicherte basaltische Anteile stehen stark angereicherten intermediären Anteilen gegenüber. Aus den vorliegenden Daten können die intermediären nicht als Differentiate der basischen Gesteine interpretiert werden. Es erscheint wahrscheinlich, daß die beiden Gruppen völlig getrennte magmatische Ereignisse darstellen. Nach dem Geländebefund besteht auch die Möglichkeit, daß sie unterschiedlichen stratigraphischen Positionen zuzuordnen sind.
  Insgesamt betrachtet sind die geochemischen Tendenzen im vorderen Saalachtal widersprüchlich. Sowohl Ähnlichkeiten mit Basalten Mittelozeanischer Rücken wie mit Intraplatten-Bildungen als auch Tendenzen zu Inselbogengesteinen lassen sich finden. Derartige Verteilungsmuster sind von Gesteinen aus „back arc" Bereichen bekannt. Diese können, insbesondere bei beginnendem „back arc spreading", bedingt durch unterschiedlich starke Einflüsse der abtauchenden Platte, geochemisch zweideutige Bilder zeigen (PEARCE, 1980; SAUNDERS et al., 1980; WEAVER et al., 1979; SAUNDERS & TARNEY, 1984).

Zur Erklärung der Unterschiede zwischen dem eng benachbarten vorderen und hinteren Saalachtal sind weitere Kartierungen und Untersuchungen notwendig. Es sind hierbei folgende Arbeitshypothesen zu betrachten:

- Erhaltung eines primären geotektonischen Unterschiedes.
- Zugehörigkeit zu zwei verschiedenen paläozoischen Terranes.
- Durch variszischen Deckenbau in Nachbarschaft geratene Reste verschiedener geotektonischer Provinzen.
- Durch alpidische Tektonik in Nachbarschaft geratene Reste verschiedener geotektonischer Provinzen.
- Unterschiedliche stratigraphische Position der Bereiche.

Für die basischen Magmatite der NGZ läßt sich zusammenfassend festhalten:

Die untersuchten Gesteine können weder einem Inselbogen-System wie von HÖLL & MAUCHER (1976) oder LOESCHKE (1977) gefordert, noch einem voll entwickelten mittelozeanischen Rücken nach COLINS et al., (1980) und MOSTLER (1984) zugeordnet werden. Eine „back arc"-Position (FRISCH et al., 1984) könnte lediglich für den Bereich des vorderen Saalachtals (westl. NGZ) zur Erklärung herangezogen werden.

Die Proben aus der östlichen NGZ und dem hinteren Saalachtal sind einer Intraplatten-Position zuzuordnen. Mit den Alkalibasalt-Sequenzen ozeanischer Inseln besteht eine gute Übereinstimmung.

Die isolierte Anwendung der vorliegenden geochemischen Daten erlaubt prinzipiell keine Unterscheidung zwischen kontinentalen und ozeanischen Tholeiiten bzw. Alkalibasalten (Bas. Volc. Stud. Pro., 1981). Allerdings belegen die Einschaltung der Vulkanite in marine Turbiditsequenzen (HEINISCH et al., 1987) und die vulkanologischen Daten klar eine marine Förderposition (SCHLAEGEL, 1988). Über die Natur der unterlagernden Kruste ist derzeit keine Aussage zu treffen.

Für den Hauptteil des basischen Magmatismus der NGZ ist kein Zusammenhang mit einem aktiven Plattenrand herzustellen, sei er konsumierender oder produzierender Art. Entsprechend läßt sich der Beweis für eine kaledonische Kollisionsorogenese (FRISCH et al., 1984) im alpinen Altpaläozoikum nicht mit Hilfe der Gesteine der Nördlichen Grauwackenzone führen. Dies gilt nicht nur aus geochemischen Gründen, sondern auch aufgrund der für den Westteil der NGZ neu definierten stratigraphischen Position der basischen Vulkanite (HEINISCH et al., 1987).

Die untersuchten basischen Magmatite aus der NGZ sind die im fossilbelegten Paläozoikum der Alpen dem Volumen und dem Erhaltungszustand nach bedeutendsten Vorkommen. Sie wurden bislang auch für Analogieschlüsse bei der Interpretation fossilleerer oder höher metamorpher Bereiche herangezogen, insbesondere für die ausgedehnten Kristallinareale der Alpen.

Die neuen Daten zum Alter und zur geotektonischen Position haben aus diesem Grunde weitreichende Auswirkungen auf die bestehende Vorstellungswelt zur Plattentektonik im alpin-mediterranen Paläozoikum. Eine ausführliche Darstellung der Daten (410 geochemische Analysen, detaillierte Profilaufnahmen, Dokumentation der vulkanogenen Reliktgefüge) ist in Vorbereitung (SCHLAEGEL, 1988).

Literatur

BASALTIC VOLCANISM STUDY PROJECT: Basaltic volcanism on the terrestrial planets. – 1286 S., New York (Pergamon Press, Inc.) 1981.

BÖGEL, H. & SCHMIDT, K.: Kleine Geologie der Ostalpen. – 217 S., Thun, Schweiz (Ott Verlag) 1976.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

COLINS, E., HOSCHEK, G., MOSTLER, H.: Geologische Entwicklung und Metamorphose im Westabschnitt der Nördlichen Grauwackenzone unter besonderer Berücksichtigung der Metabasite. – Mitt. Österr. geol. Ges., **71/72**, 343–378, Wien 1980.

FLEET, A. J.: Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. – In: HENDERSON, P. (Ed.): Rare earth element geochemistry, 510 S., Amsterdam (Elsevier) 1984.

FRISCH, W., NEUBAUER, F. & SATIR, M.: Concepts of the evolution of the austroalpine basement complex (Eastern Alps) during the Caledonian Variscan Cycle. – Geol. Rdsch., **73**/1, 1–23, Stuttgart 1984.

HAHN-WEINHEIMER, P., HIRNER, A. & WEBER-DIEFENBACH, K.: Grundlagen und praktische Anwendung der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA). – 253 S., Braunschweig (Vieweg) 1984.

HAJASH, A.: Rare earth element abundances and distribution patterns in hydrothermally altered basalts: experimental results. – Contr. Mineral. Petrol., **85**, 409–412, Berlin 1984.

HANSON, N. G.: Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems. – Ann. Rev. earth and planet. Sci. Lett., **8**, 371–406, Palo Alto, California 1980.

HEINISCH, H.: Die Geologie der Nördlichen Grauwackenzone zwischen Kitzbühel und Zell am See und ihre Bedeutung für die Rekonstruktion der altpaläozoischen Geodynamik des Ostalpenraumes. – 291 S., unveröff. Habilitationsschrift, München 1986.

HEINISCH, H. & SCHMIDT, K.: Zur Kaledonischen Orogenese in den Ostalpen. – Geol. Rdsch., **65**/2, 459–482, Stuttgart 1976.

HEINISCH, H., SPRENGER, W. & WEDDIGE, K.: Neue Daten zur Altersstellung der Wildschönauer Schiefer und des Basaltvulkanismus im ostalpinen Paläozoikum der Kitzbüheler Grauwackenzone (Österreich). – Jb. Geol. B.-A., **130**/2, 163–173, Wien 1986.

HELLMAN, P. L. & HENDERSON, P.: Are rare earths mobile during spilitisation? – Nature, **267**, 38–40, London 1977.

HÖLL, R. & MAUCHER, A.: The strata-bound ore deposits in the Eastern Alps. – In: WOLF, K. H. (Ed.): Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, **5**, 1–36, Amsterdam (Elsevier) 1976.

HUGHES, C. J.: Igneous Petrology. – Developments in Petrology, **7**, Amsterdam (Elsevier) 1982.

HUMPHRIS, S. E.: The mobility of the rare earth elements in the crust. – In: HENDERSON, P. (Ed.): Rare earth element geochemistry, 510 S., Amsterdam (Elsevier) 1984.

JAKES, P. & GILL, J.: Rare earth elements and the island arc tholeiitic series. – Earth and Planet. Sci. Lett., **9**, 17–28, Amsterdam 1970.

KOLMER, H.: Die Verteilung von Ti, Sr, Y and Zr in spilitischen Gesteinen der Steiermark. – Mitt. natw. Ver. Steiermark, **108**, 31–43, Graz 1978.

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

MENZIES, M., BLANCHARD, D. & JACOBS, J.: Rare earth and trace element geochemistry of metabasalts from the Point Sal ophiolite, California. – Earth and planet. Sci. Lett., **37**, 203–215, Amsterdam 1977.

MESCHEDE, M.: Die Geochemie der Vulkanite und die sedimentäre Entwicklung des Biscaya-Synclinoriums in Nordspanien während der Mittel- und Oberkreide. – 243 S., unveröff. Diss., Univ. Tübingen 1986.

MOSTLER, H.: Magmatisch kontrollierte Vererzungen im Ordovizium der Grauwackenzone (Salzburg-Tirol). – Geol. paläont. Mitt. Innsbr., **12**, 341–359, Innsbruck 1983.

MOSTLER, H.: Erfassung basischer Massengesteine im Raum Mittersill – Zell a. See – Salzburg. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **5**, 105–115, Wien 1984.

MOTTL, M. J.: Metabasalts, axial hot springs, and the structure of hydrothermal systems at mid-ocean ridges. – Geol. Soc. Amer. Bull, **94**, 161–180, New York 1983.

MOTTL, M. J. & HOLLAND, H. D.: Chemical exchange during hydrothermal alteration of basalts by seawater. I. Experimental results for major and minor components of seawater. – Geochim. Cosmochim. Acta, **42**, 1103–11154, Oxford 1978.

PEARCE, J. A.: Geochemical evidence for genesis and eruptive setting of lavas from Tethyan ophiolites. – In: PANAYIOTON A. (Ed): Ophiolites, Proceedings Int. Ophiolite Symp. **1979**, 261–272, Cyprus 1980.

PEARCE, J. A.: Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. – In: THORPE, R. S. (Ed.): Andesites, 525–548, Chichester (J. Wiley & Sons) 1982.

PEARCE, J. A. & CANN, J. R.: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. – Earth and planet. Sci. Lett., **19**, 290–300, Amsterdam 1973.

PEARCE, J. A., LIPPARD, S. J. & ROBERTS, S.: Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. – In: KOKELAAR, B. P. & HOWELLS, M. F. (Ed.): Marginal basin geology, Geol. Soc. Spec. Pub., **16**, 77–94, London (Blackwell Scientific Publications) 1984.

SAUNDERS, A. D.: The rare earth element characteristics of igneous rocks from the ocean basins. – In: HENDERSON (Ed.): Rare earth element geochemistry, 205–236, Amsterdam (Elsevier) 1984.

SAUNDERS, A. D. & TARNEY, J.: Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins. – In: KOKELAAR, B. P. & HOWELLS, M. F. (Ed.): Marginal Basin Geology, Geol. Soc. Spec. Publ., **16**, 59–76, London (Blackwell Scientific Publications) 1984.

SAUNDERS, A. D., TARNEY, J., MARSH, N. G. & WOOD, D. A.: Ophiolites as an ocean crust or marginal basin crust: A geochemical approach. – In: PANAYIOTON A. (Ed.): Ophiolites, Proceedings Int. Ophiolite Symp., **1979**, 193–204, Cyprus 1980.

SCHÄFFER, U. & TARKIAN, M.: Die Genese der stratiformen Sulfidlagerstätte Kalwang (Steiermark), der Grüngesteine und einer assoziierten silikatischen Eisenformation. – Tscherm. Mineral. petrogr. Mitt., **33**, 169–186, New York 1984.

SCHLAEGEL, P.: Der basische Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone, oberostalpines Paläozoikum, Österreich. – Diss. Univ. München 1988 (in Vorbereitung).

SCHÖNLAUB, H. P.: Die Grauwackenzone in den Eisenerzer Alpen (Österreich). – Jb. Geol. B.-A., **124**, 361–423, Wien 1982.

SUN, S.-S. & NESBITT, R. W.: Geochemical regularities and genetic significance of ophiolitic basalts. – Geology, **6**, 689–693, Boulder 1978.

SUN, S.-S., NESBITT, R. W. & SHARASKIN, A. Y.: Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. – Earth and planet. Sci. Lett., **44**, 119–138, Amsterdam 1979.

TARNEY, J., SAUNDERS, A. D., MATTEY, D. P., WOOD, D. A. & MARSH, N. G.: Geochemical aspects of back-arc spreading in the Scotia Sea and Western Pacific. – Phil. Trans. r. Soc. Lond., **300**, 263–285, London 1981.

TOLLMANN, A.: Grundprinzipien der alpinen Deckentektonik. – XXIII, 404 S., Wien (Deuticke) 1973.

VANLERBERGHE, L. & HERTOGEN, J.: Analysis of silicate rocks for Rb, Sr, Y, Zr and Nb by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence. – Bull. Soc. chim. Belg., **95**, 5–6, 491–501, Brüssel 1986.

WEAVER, S. D., SAUNDERS, A. D., PANKHURST, R. J. & TARNEY, J.: A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading. – Contr. Mineral. Petrol., **68**, 151–169, Berlin 1979.

WEBER-DIEFENBBACH, K.: Erfahrungen mit der energiedispersiven Röntgenfluoreszenzanalyse. – Fortschr. Mineral. Beih., **57**/1, 233–234, Stuttgart 1979.

WOOD, D. A.: The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. – Earth and planet. Sci. Lett., **50**, 11–30, Amsterdam 1980.

WOOD, D. A., GIBSION, J. L. & THOMPSON, R. N.: Elemental mobility during zeolite facies metamorphism of the Tertiary basalts of eastern Iceland. – Contr. Mineral. Petrol., **55**, 241–254, Berlin 1976.

WOOD, D. A., JORON, J. L. & TREUIL, M.: A reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. – Earth and planet. Sci. Lett., **45**, 326–336, Amsterdam 1979.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 24. Februar 1988.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: 131

Autor(en)/Author(s): Heinisch Helmut, Hertogen Jan, Schlaegel Petra

Artikel/Article: Ausgewählte Spurenelementdaten von metamorphen basischen Magmatiten aus der Nördlichen Grauwackenzone (Österreich) 267