

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

**Band:** 68 (1988)

**Heft:** 3: Geodynamik des eurpäischen Variszikums : Kaledonisch-Variszische Strukturen in den Alpen

**Artikel:** Geotektonische Neuinterpretation des basischen Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone, Ostalpen : ein Überblick

**Autor:** Schlaegel, Petra

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-52079>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.03.2025

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

# Geotektonische Neuinterpretation des basischen Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone, Ostalpen – ein Überblick

von Petra Schlaegel<sup>1</sup>

## Abstract

For the first time a comprehensive documentation concerning the low-grade metamorphic basic igneous rocks from the Northern Greywacke Zone / Eastern Alps is presented. The combination of petrographic-volcanologic and geochemical data leads to a new interpretation for the whole basic magmatism. Two different groups are obtained:

a) Intraplate magmatism – ocean island basalts

In the Eastern and Western part of the Greywacke Zone thin gabbroic sills, highly vesicular pillowbasalts, various types of pyroclastic rocks and volcanic detritus (tuffites) are widespread. The formation of these volcanic rocks in a shallow marine environment (<500 m) is pointed out. The rocks are highly enriched in immobile incompatible elements. The geochemical data prove transitional basalts and alkalibasalts of a within-plate geotectonic position (ocean island basalts). The rock sequences are interpreted as parts of oceanic islands or seamounts which existed in a shallow marine environment adjacent to a passive continental margin. The major part of basic igneous rocks of the Greywacke Zone belongs to this group.

b) Tholeiites of a marginal basin environment

The area "Vorderes Saalachtal" within the western Greywacke Zone displays a special development. The low-vesicular pillowlavas and sheetflows are in close contact to gabbroic sills. Only in this area intrusive rocks with an intermediate chemical composition appear in an uncertain stratigraphic position. The absence of products of an explosive volcanism testifies for the deposition under conditions of deeper water. The rocks show predominantly tholeiitic composition with a minor enrichment in immobile incompatible elements. The synopsis of all features leads to the discussion of the paleoenvironment as a rift system within a marginal basin or an oceanic platform.

These data are in contradiction to the prevailing geotectonic hypotheses represented in literature. The basic magmatism of the Northern Greywacke Zone may not be connected with an active plate boundary. Neither the existence of a completely developed mid oceanic ridge, nor an Ordovician collisional orogeny can be supported.

*Keywords:* Eastern Alps, Paleozoic, Caledonian event, basic volcanism, geochemistry, volcanology.

## Zusammenfassung

Die schwachmetamorphen paläozoischen basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone / Ostalpen werden anhand einer breiten Datenbasis erstmals umfassend dargestellt und neu interpretiert. Aus der Kombination petrographisch-vulkanologischer und geochemischer Daten ergeben sich zwei unterschiedlich zu interpretierende Gruppen:

a) Intraplattenmagmatite – Basalte Ozeanischer Inseln

Geringmächtige gabbroide Intrusiva, blasenreiche Pillowbasalte, bunte Pyroklastika und vulkanischer Detritus (Tuffite) sind im Ost- und Westteil der Grauwackenzone weit verbreitet. Für die Vulkanite wird ein flachmariner Bildungsbereich (< 500 m) nachgewiesen. Geochemisch sind die an immobilen inkompatiblen

<sup>1</sup> Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität, Luisenstr. 37, D-8000 München 2.

Elementen stark angereicherten Gesteine als «transitional basalts» bzw. Alkalibasalte mit einer geotektonischen Position innerhalb einer Platte (Basalte Ozeanischer Inseln) ausgewiesen. Die Abfolgen werden als vulkanische Hochzonen bzw. Teile Ozeanischer Inseln oder Seamounts interpretiert, die in einem flachmarinen Bereich nahe eines passiven Kontinentalrands existierten. Dieser Gruppe gehört der Hauptteil der basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone an.

b) Tholeiite eines «marginal basin»

Eine Sonderentwicklung zeigt der Bereich «vorderes Saalachtal» der westlichen Grauwackenzone. Hier treten blasenarme Pillow- und Schichtlaven in engem Verband mit gabbroiden Lagergängen auf. Zusätzlich finden sich intermediäre Ganggesteine in stratigraphisch noch ungesicherter Position. Zeugen eines explosiven Vulkanismus fehlen völlig, die Abfolgen werden daher grösseren Wassertiefen zugeordnet. Die Gesteine zeigen einen vorwiegend tholeiitischen Chemismus und eine weniger starke Anreicherung an immobilen inkompatiblen Elementen. Aus der Gesamtheit der Merkmale werden ein Riftsystem innerhalb eines «marginal basin» bzw. Bildungen einer Ozeanischen Plattform diskutiert.

Diese Daten widerlegen einen Grossteil der existierenden Literaturmodelle. Der basische Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone ist nicht im Zusammenhang mit einem aktiven Plattenrand interpretierbar. Weder die Existenz eines voll entwickelten Mittelozeanischen Rückens noch eine ordovizische Kollisionsorogenese können belegt werden.

## 1. Einführung

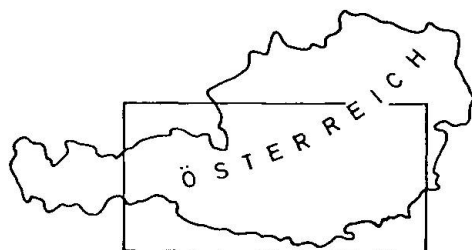
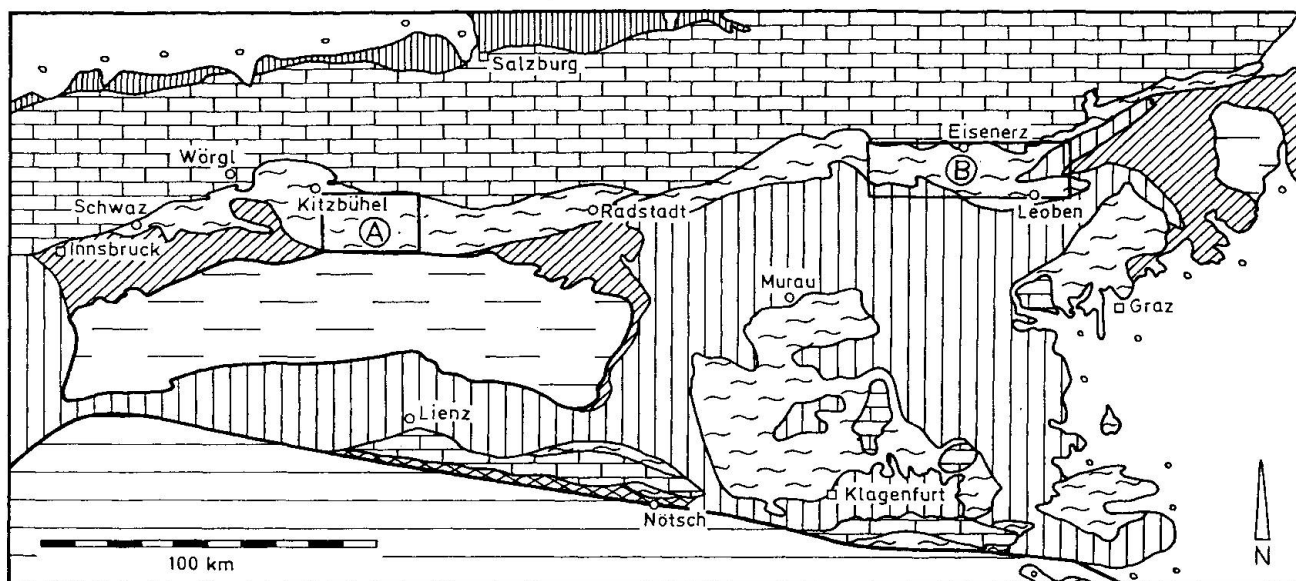
In der Nördlichen Grauwackenzone sind die im Volumen bedeutendsten Vorkommen basischer Magmatite des schwachmetamorph alpinen Paläozoikums aufgeschlossen. Trotz zweier Orogenesen sind die primärmagmatischen Gefüge und Minerale der Gesteine teilweise gut erhalten. Sie stellen damit einen wichtigen Schlüssel zum Verständnis der voralpidischen Geschichte des Alpenraumes dar. Obwohl aus der Grauwackenzone erst wenige publizierte geochemische Daten vorliegen (COLINS et al., 1980; SCHÄFFER und TARKIAN, 1984), wurden die basischen Vulkanite mehrfach in plattentektonische Modelle für das alpine Paläozoikum einbezogen. Hierbei wurde beinahe jede denkbare plattentektonische Position diskutiert (COLINS et al., 1980; FRISCH et al., 1984; HÖLL und MAUCHER, 1976; KOLMER, 1978; LOESCHKE, 1977; MOSTLER, 1983; SCHÄFFER und TARKIAN, 1984).

Die Nördliche Grauwackenzone erstreckt sich als schmaler Streifen schwachmetamorpher paläozoischer Gesteine zwischen den Nördlichen Kalkalpen im N und den Zentralalpen im S (Abb. 1). Sie gehört dem oberostalpinen Deckensystem an (TOLLMANN, 1973). Aufgrund der geographischen Gegebenheiten wird eine westliche («Kitzbüheler») und eine östliche («Steirische») Grauwackenzone unterschieden. Die Arbeitsgebiete liegen, entsprechend der Hauptverteilungsbereiche der basischen Gesteine, in der westlichen Grauwackenzone zwischen Kitzbühel und Zell am See (Arbeitsgebiet A, Abb. 1), in der östlichen

Grauwackenzone zwischen Admont und Bruck a. d. Mur (Arbeitsgebiet B, Abb. 1). Der basische Vulkanismus ist bisher an zwei Stellen biostratigraphisch datiert. Im Raum Kitzbühel ist ein hoch-unterdevonisches Alter (HEINISCH et al., 1987), im Gebiet Trofaiach der östlichen Grauwackenzone ein silurisches Alter (SCHÖNLAUB, 1982) belegt.

## 2. Methodik

Für eine Gesamtbetrachtung des basischen Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone wurden im Rahmen einer Dissertation an der Universität München (SCHLAEGEL, 1988) ca. 500 Proben bearbeitet. Von 410 Proben wurden mit einem energiedispersiven Röntgen-Fluoreszenz-Analyse-System (EDRFA, Analytiker K. WEBER-DIEFENBACH) Analysen der Haupt- und Spurenelementgehalte erstellt (vgl. Tab. 1). Zusätzlich wurden an der K.U. Leuven von 13 repräsentativen Proben die Elementgehalte an Ba, Sc, Seltenerdelementen, Hf, Ta und Th mit Hilfe der Instrumentellen Neutronenaktivierungsanalyse (INAA) und Nb mittels EDRFA bestimmt (Analytiker J. HERTOGEN). Diese Analysendaten sind in HEINISCH et al. (1988) veröffentlicht. Weitere Seltenerdelement-Bestimmungen sind derzeit in Bearbeitung. Die Chondritnormierung (Abb. 6) erfolgte mit folgenden Werten: La: 0.34, Ce: 0.89, Nd: 0.65, Sm: 0.209, Eu: 0.0806, Tb: 0.052, Yb: 0.225, Lu: 0.035 (nach Daten von EVENSEN et al., 1978; MASUDA et al., 1973; NAKAMURA, 1974). Für die Verwendung



	Tertiär und Quartär		Oberostalpin-Mesozoikum
	Flysch und Helvetikum		Oberostalpin-Paläozoikum
	Penninikum		Oberostalpin-Kristallin
	Unteralostalpin		Südalpin
	Mittelostalpin		

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

in den Diskriminationsdiagrammen wurden die Daten wasserfrei gerechnet. Details zur Analytik sowie ein Verzeichnis der Analysen und der Probenahmepunkte finden sich in SCHLAEGEL (1988).

Der primäre Chemismus von Paläovulkaniten ist durch alterationsbedingte Stoffverschiebungen in der Regel stark verstellt. Geotektonische Interpretationen, die rein auf der geochemischen Zusammensetzung beruhen, sind daher problematisch. Deshalb wurden hier neben der geochemischen Bearbeitung umfangreiche Geländearbeiten, Profilaufnahmen und petrographische Untersuchungen mit besonderem Schwerpunkt auf der Interpretation vulkanogener Reliktstrukturen durchgeführt.

### 3. Petrographie

Die basischen Gesteine der Grauwackenzone wurden bisher meist als Diabase, Grünschiefer usw. bezeichnet. Sie werden nach den neuen Daten, soweit als möglich, entsprechend

ihrem primärmagmatischen Charakter benannt und insgesamt vier Grossgruppen zugeordnet. *Intrusivgesteine* (gabbroide und intermediäre Ganggesteine, Pyroxenite), *Laven* (Pillow- und Schichtlaven) und *Vulkaniklastika* (Pillowbrekzien, verschiedenartige Tuffe, Tuffite) werden unterschieden. Der Begriff Vulkaniklastika wird im Sinne von FISHER (1961) als Überbegriff für alle pyroklastischen Gesteine sowie deren epiklastische Umlagerungsprodukte (Tuffite) verwendet, da der Anteil der epiklastischen Beeinflussung in den stark überprägten basischen Gesteinen oft nicht mehr rekonstruierbar ist. Unter dem Begriff *Grünschiefer* werden alle die Gesteine zusammengefasst, deren primärmagmatischer Charakter nicht mehr eindeutig erkennbar ist.

Alle untersuchten Gesteine sind grünschieferfaziell metamorph (low grade stage, WINKLER, 1979). Daher ist der Grossteil des primären Mineralbestandes bzw. des primären Glasanteils in metamorphe Mineralneubildungen umgewandelt. In den Gesteinen der westlichen Grauwackenzone ist ein Teil der Plagioklas-

und Pyroxen-Phänokristalle erhalten, im Ostteil finden sich nur vereinzelt reliktsche Feldspat-Einsprenglinge. Die Feldspäte sind albitisiert, bei den reliktschen Pyroxenen handelt es sich durchwegs um Klinopyroxene. Indirekte Rückschlüsse auf den Phänokristall-Anteil lassen sich anhand der Pseudomorphosen ziehen. Reliktische vulkanogene Gefüge (z. B. Umrisse von Lapilli und Glasshards) werden oft durch eine feine Erzpigmentierung nachgezeichnet und so überliefert (vgl. Kap. 5).

#### 4. Verbreitung

Die westliche Grauwackenzone stellt das Hauptuntersuchungsgebiet dar, da hier die basischen Magmatite die grössten Mächtigkeiten erreichen und hinsichtlich der primärmagmatischen Strukturen am besten erhalten sind. Zudem liegen aus diesem Raum durch die Tätigkeit der Münchner Arbeitsgruppe neue Daten zur Stratigraphie, Sedimentologie und Tektonik vor (HEINISCH, 1986, 1988, Beitrag in diesem Band).

In der *westlichen Grauwackenzone* sind die basischen Magmatite innerhalb der neu definierten Glemmtal-Einheit durchgehend verbreitet (HEINISCH, 1986). Aufgrund deutlicher Unterschiede in der Verteilung und Petrographie der basischen Magmatite werden zwei Bereiche unterschieden. Die Trennungslinie zwischen beiden verläuft etwa in N-S-Richtung ca. 1 km östlich des «Maurerkogel» (vgl. Abb. 2 in HEINISCH, 1988, Beitrag in diesem Band).

- Im *vorderen Saalachtal* (Gebiet Maishofen-Viehhofen) treten vorwiegend blasenarme Pillow- und Schichtlaven in engem Wechsel mit gabbroiden Lagergängen und geringmächtigen (dm- bis m-Bereich) Sedimentzwischen-schaltungen auf. Diese Abfolgen werden maximal ca. 300 m mächtig. Produkte eines explosiven Vulkanismus fehlen völlig. Nur in diesem Gebiet wurden feldspatbetonte Intrusiva mit intermediärem Chemismus gefunden. Die Untersuchung dieses auch als «Basalt-Sill Komplex von Maishofen» bezeichneten Gebietes ist noch nicht abgeschlossen.

- Das *hintere Saalachtal* (im wesentlichen Bereich Saalbach-Hinterglemm) ist durch mächtige, blasenreiche Pillowbasalte und weit verbreitete, mächtige Vulkaniklastika gekennzeichnet. Mit einer über 350 m durchgehend aufgeschlossenen Basaltfolge ist der Gaisstein

in den Kitzbüheler Alpen das mächtigste Basaltvorkommen in der gesamten Grauwackenzone. Die Basalte treten meist in Lagenwechsel und lateraler Verzahnung mit bunten Pyroklastika auf. In Einzelfällen erreichen die Gesamtabfolgen Mächtigkeiten bis zu 400 m. Gabbroide Intrusivgesteine treten auch hier vorwiegend als Lagergänge auf, zusätzlich finden sich geringmächtige Pyroxenite. Die Mächtigkeiten der Intrusivgesteine überschreiten selten 8 m.

In der *östlichen Grauwackenzone* sind die Verbreitungsbereiche basischer Magmatite räumlich deutlich voneinander getrennt. Mächtigkeiten und Volumen sind geringer als im Westen. Die Vulkanite sind maximal über eine Mächtigkeit von 200 m durchgehend aufgeschlossen. Auch hier können geringmächtige gabbroide Intrusiva wie im Westen vorwiegend als Lagergänge, Basaltlagen und Vulkaniklastika unterschieden werden. Dazu kommen verschiedene Typen von Grünschiefern und Amphiboliten.

Hinweise auf die Existenz einer kompletten Ophiolithsequenz fehlen im gesamten Untersuchungsgebiet.

#### 5. Vulkanologie

Die trotz der metamorphen Überprägung teilweise gut erhaltenen vulkanogenen Reliktstrukturen geben Aufschluss über Förder- und Ablagerungsbedingungen der Vulkanite.

Innerhalb der *Basaltabfolgen* können Pillow- und Schichtlaven unterschieden werden. Ehemalige Blasen sind als calcitgefüllte Hohlräume überliefert. Die ursprünglich glasigen Pillowrinden- und Zwickel sind in einen mikrokristallinen Filz vorwiegend aus Chlorit, Epidot und feinverteiltem Erz umgewandelt und bleiben durch die dunkle Färbung trotz der oft starken tektonischen Überprägung deutlich erkennbar.

Besonders wichtig für die Beurteilung der vulkanischen Prozesse sind die *pyroklastischen Gesteine*. Ihr Erscheinungsbild in der Grauwackenzone ist vielfältig. Neben Pillowbrekzien, Hyaloklastiten, Schlacken, Lapilli- und Aschentuffen (Abb. 2) treten grosse Volumina an epiklastisch umgelagertem Vulkanitmaterial auf (Tuffite). In Einzelfällen liessen sich Gradierungen beobachten.

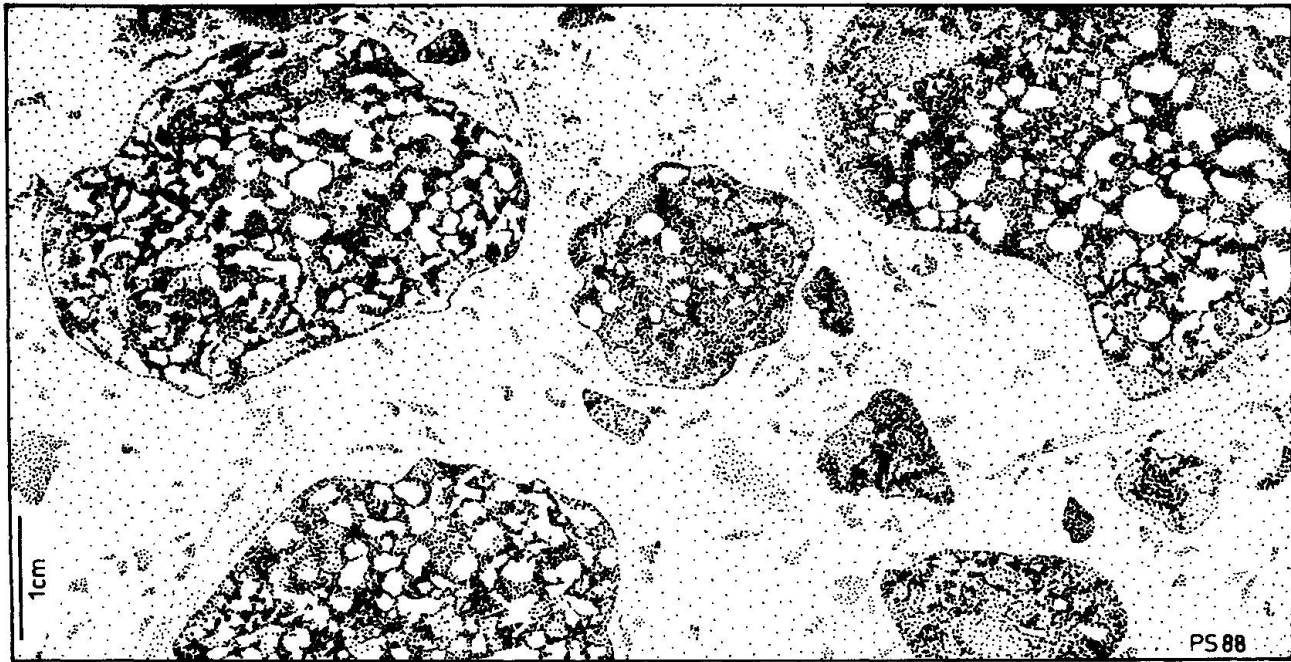


Abb. 2 Lapillituff mit stark blasigen Bimslapilli aus dem hinteren Saalachtal (Anschliff). Die Lapilli sind in eine dichte Matrix eingebettet. Die ursprünglich glasigen Partien sind durch feinverteiltes Erz dunkel pigmentiert. Die ehemaligen Blasen sind jetzt calcitgefüllt. Hochblasige Bimslapilli sind Anzeichen für subaerische Eruptionen.

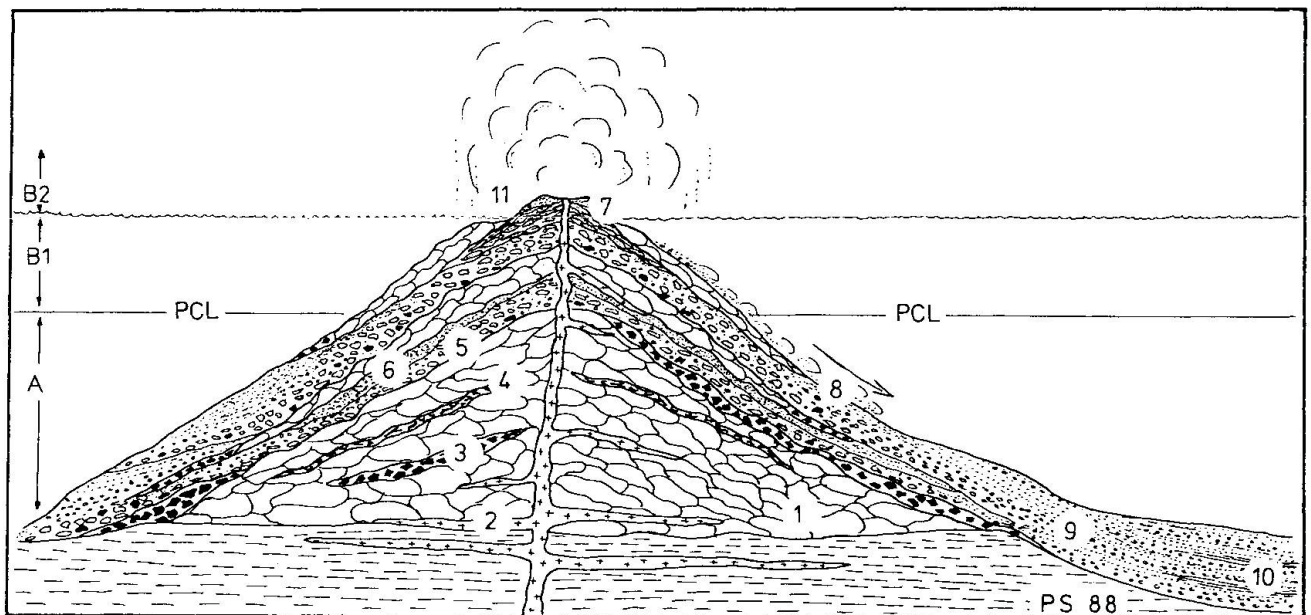
Anhand der vulkanologischen Daten werden die Vorkommen basischer Vulkanite der Grauwackenzzone als submarine Vulkane interpretiert. Einige Profile lassen sich gut mit Teilen ozeanischer Inseln oder Seamounts vergleichen. Auch die Wassertiefe, in der die Eruptionen stattfanden, lässt sich anhand der weitverbreiteten Pyroklastika abschätzen. Die Wassertiefe, ab welcher explosiver Vulkanismus stattfinden kann, wird als PCL (pressure compensation level) bezeichnet (FISHER, 1984). Er ist abhängig von Chemismus und Gasgehalt des Magmas, für Alkalibasalte liegt er im Regelfall oberhalb 500 m, für Tholeiite bei noch geringeren Tiefen (FISHER, 1984; FISHER und SCHMINCKE, 1984). Anhand der Blasigkeit von Basalten lassen sich dagegen keine sicheren Rückschlüsse auf die Wassertiefe ziehen (DICK, 1980; GARCIA et al., 1979; SCHLAEGEL, 1988).

In verschiedenen Profilen konnten Förder- und Ablagerungsmechanismen der basischen Vulkanite der Grauwackenzzone rekonstruiert werden. Die schlechten Aufschlussverhältnisse und die kräftige tektonische Durchbewegung lassen im Gelände eine vollkommene Rekonstruktion eines Vulkans bzw. das Auffinden eines Förderzentrums nicht zu. Aufgrund von

zahlreichen Beobachtungen an Einzelvorkommen konnten jedoch viele Details zusammengetragen werden, so dass sich fast alle Charakteristika eines submarinen Vulkans belegen lassen. In Abb. 3 sind sie in einer idealisierten Darstellung eines Inselvulkans zusammengefasst:

- *Unterhalb des PCL bauen mächtige Basaltlaven Hochzonen auf.* Einzige pyroklastische Gesteine sind Pillowbrekzien und dünne Hyaloklastitlagen, die vorwiegend durch thermischen Schock an der Oberfläche von Pillowbasaltströmen entstehen.

- *Oberhalb des PCL überwiegen Produkte eines explosiven Vulkanismus.* Neben meist stark blasigen Pillowbasalten werden verschiedene Arten von Tuffen gefördert. Dabei belegen Schlacken und unsortierte Lapillituffe eine grosse Nähe zum Eruptionszentrum. In Flankenposition können die Ablagerungen Sortierungen aufweisen («pyroclastic flow», FISHER, 1984). Am Fuss der vulkanischen Hochzone und in den angrenzenden Beckenbereichen wird turbiditisch umgelagerter vulkanischer Detritus abgelagert, der bereichsweise mit nicht vulkanogenem Material durchmengt ist. Auf kurzzeitige Auftauchphasen weisen hoch-



**STADIUM A:** Unterhalb des PCL ('pressure compensation level'): (Pillow-) Laven (1) überwiegen; ein signifikantes Volumen an Sills (2) kann auftreten. Einzige pyroklastische Gesteine sind Pillowbrekzien (3) und Hyaloklastite (4).

**STADIUM B1:** Unterhalb des Meeresspiegels und oberhalb des PCL: Submarin entstandene Pyroklastika überwiegen; Lapillituffe (5), Aschentuffe (6); in Kraternähe: Schlacken (7), unsortierte Tuffe; an den Flanken: 'pyroclastic flow', z.T. mit Sortierung (8); Beckenbereiche: 'sediment gravity flow', Umlagerung (z.T. turbiditisch) (9), Durchmischung mit nicht vulkanogenem Material (10).

**STADIUM B2:** Subaerischer Teil:

Laven und Pyroklastika werden gefördert; hochblasige Bimsfetzen, Brandungsplattform (11). Breitgefächerte vulkaniklastische Ablagerungen entstehen an den Flanken und im umgebenden Becken.

(nach FISHER 1984, verändert und ergänzt)

Abb. 3 Generalisiertes Modell eines Inselvulkans. Die bezeichneten Typen vulkanogener Ablagerungen lassen sich in der Nördlichen Grauwackenzone belegen.

blasige Bimslapilli hin, wie sie nur in sehr geringen Wassertiefen oder subaerisch entstehen können. Basaltgerölle, die innerhalb der Vulkaniklastika gefunden wurden, belegen die Existenz von Brandungsplattformen.

In der Grauwackenzone sind demnach zwei Bereiche unterschiedlicher vulkanischer Entwicklung auseinanderzuhalten:

– Im *vorderen Saalachtal* fehlen Zeugen eines explosiven Vulkanismus, die Basalte sind sehr blasenarm. Für diesen Bereich wird eine Extrusionstiefe unterhalb des PCL angenommen.

– Im *hinteren Saalachtal und in der östlichen Grauwackenzone* treten blasenreiche Basalte zusammen mit weit verbreiteten Pyrokla-

stika auf. Solche Gesteine können nur oberhalb des PCL, also in Wassertiefen  $< 500$  m, gefördert werden.

Damit ist für den Grossteil der basischen Vulkanite der Grauwackenzone eine Entstehung in einer Tiefsee ( $> 3000$  m) auszuschließen. Die vulkanologischen Daten deuten darauf hin, dass der Grossteil der Laven und Pyroklastika in einem flachmarinen Bereich gefördert wurde. Die Nähe zu einem kontinentalen Hinterland ist durch die Art der Sedimente belegt (HEINISCH, 1988, Beitrag in diesem Band). Dementsprechend wird der Hauptteil der basischen Magmatite (hinteres Saalachtal und östliche Grauwackenzone) als Teil vulkanischer Hochzonen interpretiert, die in einem flachma-

rinen Bereich existierten und in Einzelfällen ein kurzzeitiges subaerisches Stadium erreichten.

## 6. Geochemie

Durch die nachweislich starken, alterationsbedingten Stoffverschiebungen (Ozeanbodenmetamorphose, zweifache regionalmetamorphe Überprägung) wurde die primäre Zusammensetzung der basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone entscheidend verändert. Ein Grossteil der Kriterien, die üblicherweise zur geotektonischen Einordnung verwendet werden (Gehalt an Alkalien, Norm usw.), sind daher hier nicht anwendbar. Für eine aussagekräftige Interpretation bleiben nur wenige immobile Elemente, im wesentlichen Ti, P, Y, Zr. Dadurch erhalten die Seltenerdelemente besondere Bedeutung, denn deren Verteilungskurven behalten auch in alterierten Sequenzen ihre petrogenetische Gültigkeit.

Die Vielzahl der geochemischen Daten kann hier nur durch einige ausgewählte Beispiele repräsentiert werden. Ein Überblick über die wichtigsten Ergebnisse wird im fol-

genden anhand der Basalte aus der westlichen Grauwackenzone gegeben. Die Proben aus der östlichen Grauwackenzone (hier nicht dargestellt) zeigen petrographisch-vulkanologisch ähnliche Eigenschaften wie die Probengruppe «hinteres Saalachtal» der westlichen Grauwackenzone (vgl. Kap. 4, 5). Auch geochemisch stimmen beide Gruppen grossteils überein (SCHLAEGEL, 1988).

Einen Überblick über die mittlere geochemische Zusammensetzung der einzelnen Gesteinsgruppen gibt Tab. 1. Die untersuchten Gesteine entsprechen im wesentlichen einem basaltischen Chemismus. Lediglich einige Laven und die intermediären Ganggesteine aus dem vorderen Saalachtal tendieren zum Chemismus basaltischer Andesite. Insgesamt sind alle Gesteine an Ti, P, Zr und den leichten Seltenerdelementen angereichert.

Die aufgrund der petrographisch-vulkanologischen Charakteristika unterschiedenen Grossgruppen trennen sich auch geochemisch. Im Diagramm  $TiO_2-Zr/P_2O_5$  (WINCHESTER und FLOYD, 1976; Abb. 4) folgen die Proben aus dem vorderen Saalachtal dem tholeiitischen Trend. Die Proben aus dem hinteren Saalachtal streuen vom tholeiitischen in den al-

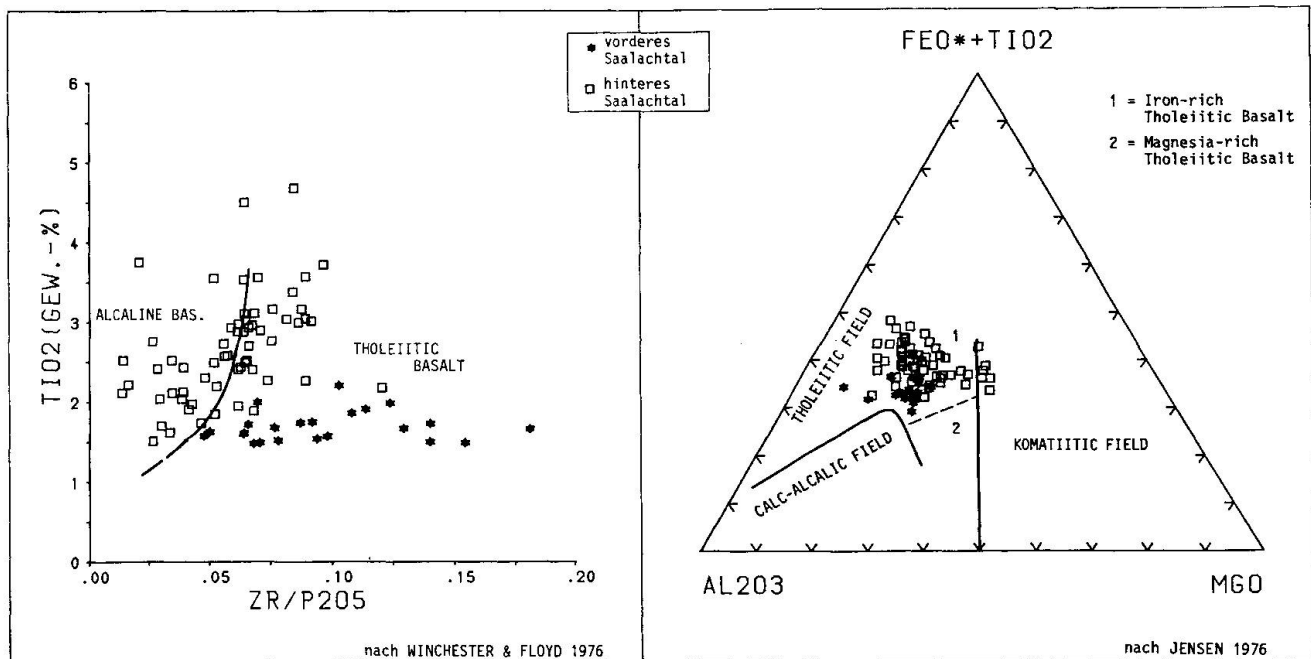


Abb. 4 Magmencharakter der basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone am Beispiel der Basalte aus der westlichen Grauwackenzone. Im Diagramm  $TiO_2-Zr/P_2O_5$  ergibt sich eine deutliche Zweiteilung: Die Proben aus dem vorderen Saalachtal folgen dem tholeiitischen Trend, die Proben aus dem hinteren Saalachtal streuen vom tholeiitischen in den alkalibasaltischen Bereich. Das Konzentrationsdreieck  $Al_2O_3-FeO^*+TiO_2-MgO$  zeigt, dass keine Kalkalkalibasalte auftreten.



Tab. 1 Überblick über die geochemische Zusammensetzung der basischen Magmatite der westlichen und östlichen Grauwackenzone, aufgeteilt nach Gesteinsgrossgruppen. Die sehr heterogene Gruppe der «Vulkaniklastika» (107 Proben) ist hier nicht dargestellt.

WESTLICHE GRAUWACKENZONE																		
PYROXENITE (N=6)				INTERMEDIÄRE GANGGEST. (N=12)				GABBROIDE GANGGEST. (N=77)				LAVEN (N=92)						
MITTELM.		MIN.	MAX.	MITTELM.		MIN.	MAX.	MITTELM.		MIN.	MAX.	MITTELM.		MIN.	MAX.			
HAUPT- UND NEBENELEMENTE (GEW.-%)																		
SiO <sub>2</sub>	46.76	44.25	50.13	55.86	2.28	53.03	60.96	0.85	49.22	1.95	43.14	52.39	-1.05	49.69	3.25	40.06	59.93	0.26
TiO <sub>2</sub>	1.55	1.20	1.82	0.48	0.98	0.13	0.34	1.69	2.44	1.04	0.88	5.27	-0.99	2.47	0.80	1.48	5.29	0.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.22	6.54	10.87	16.07	1.23	14.89	18.53	1.18	14.72	2.25	8.02	15.37	-0.89	14.72	1.48	9.90	17.70	-0.69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.32	9.95	15.45	11.73	1.71	9.15	14.23	-0.21	12.36	1.51	9.21	15.37	0.35	12.49	1.94	7.54	17.05	0.22
MnO	0.15	0.06	0.30	0.19	0.08	0.11	0.36	1.16	0.18	0.04	0.39	0.10	0.51	0.18	0.09	0.0	0.86	4.67
MgO	16.84	13.94	20.53	4.74	1.88	1.96	8.43	0.51	9.01	3.59	4.76	20.90	1.63	7.39	2.36	2.41	14.45	0.88
CaO	10.71	8.01	14.47	3.07	2.07	0.53	7.49	1.20	7.67	2.31	2.19	12.83	-0.30	8.59	0.85	1.35	17.92	0.58
Na <sub>2</sub> O	1.58	0.80	2.52	3.95	1.34	1.22	5.26	-1.32	3.73	1.10	0.52	6.11	0.29	3.03	0.85	0.20	4.65	-0.81
K <sub>2</sub> O	0.23	0.03	0.77	0.63	0.63	0.04	1.90	0.44	0.51	0.60	0.01	2.20	1.20	0.72	0.76	0.01	3.25	1.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.21	0.28	0.48	0.21	0.13	0.94	-0.22	0.36	0.18	0.05	0.87	0.66	0.30	0.18	0.03	0.94	0.70
SUMME	99.60	98.55	100.69	99.50	0.57	98.49	100.45	-0.37	99.61	0.51	98.25	100.94	-0.35	99.56	0.45	98.52	100.56	-0.03
LOI	4.21	2.30	5.59	3.78	0.97	2.27	5.30	0.93	4.28	2.54	0.35	14.00	1.94	4.89	3.07	0.11	19.85	2.28
SPURENELEMENTE (PPM)																		
V	160	8	363	523	144	268	782	0.19	476	253	25	1449	1.12	534	240	169	1229	1.13
Cr	720	432	1133	75	47	22	180	1.18	282	280	24	1652	2.45	262	245	40	1251	1.97
Co	66	21	209	55	40	10	164	1.95	74	24	23	224	1.16	62	50	16	208	1.86
Ni	302	134	489	30	39	4	148	2.89	96	107	6	473	2.02	77	87	4	499	1.88
Ga	27	6	89	26	5	18	34	-0.33	21	6	6	49	1.37	18	6	5	36	-0.13
Rb	7	5	10	38	21	4	80	0.20	19	12	5	54	0.69	23	14	5	73	1.03
Sr	102	62	163	391	193	89	675	0.15	470	326	47	1680	1.81	282	189	23	1150	1.72
Y	21	10	20	64	16	40	87	0.15	36	12	11	64	0.51	36	11	15	225	0.13
Zr	88	40	158	447	141	232	641	0.00	236	133	46	799	1.68	232	123	58	778	1.42
ÖSTLICHE GRAUWACKENZONE																		
GRÜNSCHIEFER (N=49)				GABBROIDE GANGGEST. (N=23)				LAVEN (N=33)										
MITTELM.		MIN.	MAX.	MITTELM.		MIN.	MAX.	MITTELM.		MIN.	MAX.	MITTELM.		MIN.	MAX.			
HAUPT- UND NEBENELEMENTE (GEW.-%)																		
SiO <sub>2</sub>	50.33	3.56	40.13	61.02	0.39	49.19	1.97	45.05	52.50	-0.31	49.03	2.06	44.76	53.17	0.01			
TiO <sub>2</sub>	2.44	0.61	2.27	3.83	-0.08	2.09	0.89	0.88	18.32	-2.25	14.90	0.43	1.20	3.11	0.27			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.03	1.91	10.81	19.66	-0.02	15.61	2.70	6.67	18.52	2.21	14.90	1.59	12.22	18.56	0.73			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.29	9.81	17.89	1.42	1.42	11.42	1.42	1.42	13.95	-0.13	11.62	1.27	9.46	14.34	0.05			
MnO	0.19	0.15	0.02	1.00	4.05	0.19	0.05	0.12	0.35	1.29	0.16	0.03	0.09	0.21	-0.21			
MgO	7.42	2.43	3.60	18.25	1.97	9.09	3.89	5.37	23.49	2.67	7.14	2.06	4.83	16.40	2.94			
CaO	8.26	2.73	0.55	15.65	-0.14	8.44	3.02	2.99	15.16	0.20	10.41	3.76	2.53	16.81	-0.02			
Na <sub>2</sub> O	2.03	1.01	0.03	5.94	-0.22	3.19	1.00	0.65	4.53	-1.01	3.03	0.93	1.10	5.23	0.03			
K <sub>2</sub> O	0.35	0.16	0.10	2.33	2.21	0.33	0.61	0.01	2.10	2.41	0.83	0.75	0.10	2.80	1.13			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.16	0.08	0.76	0.50	0.29	0.18	0.06	0.70	0.70	0.34	0.13	0.06	0.73	0.33			
SUMME	99.70	0.60	98.48	100.79	-0.12	99.84	100.78	-0.89	99.57	0.61	98.14	100.89	-0.89	99.57	0.61	98.14	100.52	-0.19
LOI	5.41	2.78	0.71	14.24	1.17	6.01	3.09	2.54	12.71	0.86	6.38	2.90	2.47	12.30	0.41			
SPURENELEMENTE (PPM)																		
V	604	220	156	1146	0.32	441	219	168	1091	1.32	433	166	158	857	0.70			
Cr	274	267	44	1357	2.34	251	155	51	691	1.64	230	209	55	1127	2.85			
Co	46	54	18	193	2.92	59	44	22	170	1.56	55	34	20	143	0.93			
Ni	54	75	5	336	2.73	98	85	5	348	1.57	61	48	5	190	1.09			
Ga	19	6	5	59	2.73	17	4	7	24	0.72	17	6	5	54	0.84			
Rb	17	13	7	64	1.82	17	17	7	67	2.14	20	12	7	54	1.00			
Sr	300	153	19	712	0.98	319	161	76	602	0.14	305	146	75	705	0.60			
Y	43	18	18	107	1.38	33	88	21	55	0.91	33	10	19	52	0.60			
Zr	238	112	96	632	1.45	190	94	84	434	1.00	171	64	83	350	1.11			

MITTELM.=MITTELWERT, STAW.=STANDARDABWEICHUNG, MIN.=MINIMUM, MAX.=MAXIMUM  
LOI = GLÜHVERLUST

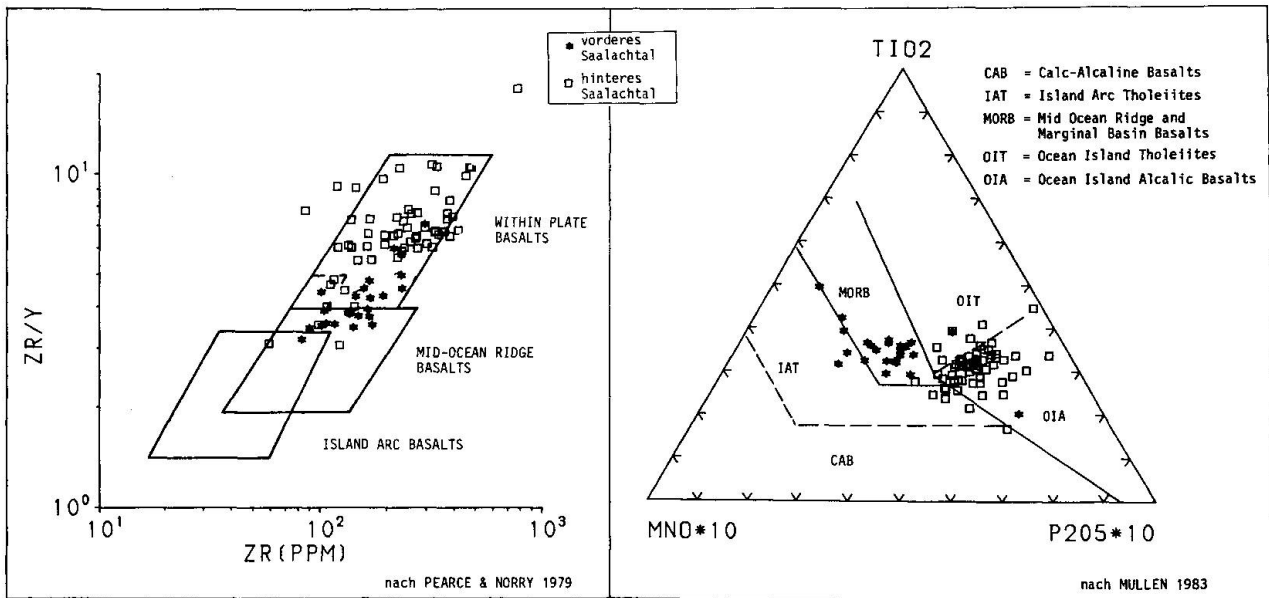


Abb. 5 Geotektonische Position der basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone am Beispiel der Basalte der westlichen Grauwackenzone. Die Regionalgruppen trennen sich deutlich: Die Probengruppe «vorderes Saalachtal» zeigt vorwiegend die Eigenschaften von Basalten mittelozeanischer Rücken, die Proben aus dem hinteren Saalachtal sind als Intraplatten-Basalte bzw. Basalte Ozeanischer Inseln ausgewiesen. (vorderes Saalachtal: n = 26; hinteres Saalachtal: n = 66)

kalischen Bereich. Hier liegt möglicherweise eine «transitional Serie» vor, die sich geochemisch im Übergangsbereich tholeiitisch-alkalisch bewegt.

Die durchwegs hohen Ti-Gehalte sind auch im Diagramm  $TiO_2-FeO^*/(FeO^*+MgO)$  ( $FeO^*$ : Gesamteisen als  $Fe^{3+}$ ; BECCALUVA et al., 1983; ohne Abb.) belegt. Alle Proben liegen hier im Bereich der High-Ti Ophiolithe wie sie an ozeanischen Rücken, in gut entwickelten «marginal basins» und an Ozeanischen Inseln gebildet werden. Low-Ti Ophiolithe stehen immer im Zusammenhang mit Subduktionszonen (SUN und NESBITT, 1978).

Wie das Konzentrationsdreieck  $Al_2O_3-FeO^* + TiO_2-MgO$  ( $FeO^*$ : Gesamteisen als  $Fe^{3+}$ ; JENSEN, 1976; Abb. 4) zeigt, konnten keine Indizien für einen kalkalkalischen Chemismus gefunden werden. Alle Gesteine liegen im Bereich eisenreicher tholeiitischer Basalte.

Verschiedene Zr/Y-Verhältnisse sind typisch für Basalte unterschiedlicher geotektonischer Position. Aus dem Diagramm Zr/Y-Zr (PEARCE und NORRIS, 1979; Abb. 5) werden die regionalen Unterschiede wieder deutlich. Die Proben aus dem vorderen Saalachtal streuen vom Intraplatten-Feld in den für Basalte mittelozeanischer Rücken typischen Bereich, die

Proben aus dem hinteren Saalachtal weisen die für Intraplatten-Basalte typischen hohen Zr/Y-Werte auf. Das Feld der Inselbogen-Basalte ist nicht belegt.

Ähnliches lässt sich aus dem Konzentrationsdreieck  $MnO-TiO_2-P_2O_5$  (MULLEN, 1983; Abb. 5) ablesen. Die Proben aus dem vorderen Saalachtal belegen das MORB-Feld mit einer geringen Tendenz zu Inselbogen-Tholeiiten, die Probengruppe «hinteres Saalachtal» fällt vorwiegend in den für Alkalibasalte Ozeanischer Inseln typischen Bereich.

Anhand der Seltenerdelement-Verteilungskurven lassen sich die Ergebnisse präzisieren.

In den folgenden Darstellungen sind auch die intermediären Ganggesteine aus dem vorderen Saalachtal (vgl. Kap. 4) mit einbezogen. Diese wurden bisher nicht extra dargestellt, da sie sich aufgrund der Haupt- und Spurenelementgeochemie nicht deutlich von den Basalten unterscheiden (SCHLAEGEL, 1988).

Die chondritnormierten Verteilungskurven (vgl. Kap. 2; Abb. 6) zeigen bei allen Gesteinen eine teilweise sehr starke Anreicherung der leichten Seltenerdelemente gegenüber den schweren Seltenerdelementen. Solche «enriched type»-Gesteine treten in verschiedenen geotektonischen Positionen auf, sie sind u. a.

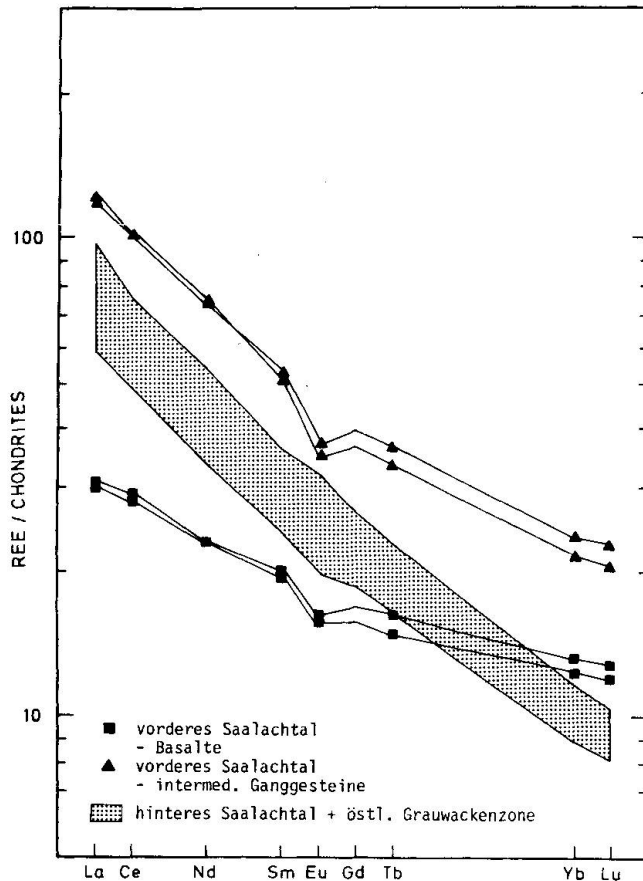


Abb. 6 Chondritnormierte Seltenerdelement-Verteilungskurven. In allen Proben sind die leichten gegenüber den schweren Seltenerdelementen angereichert. Die Probengruppe «vorderes Saalachtal» spaltet sich in zwei Teilgruppen unterschiedlich starker Anreicherung auf.

typisch für die Abfolgen Ozeanischer Inseln (SAUNDERS, 1984; TARNEY et al., 1981). Die Probengruppe «Vorderes Saalachtal» zerfällt in zwei Teilgruppen. Die intermediären Ganggesteine trennen sich mit durchwegs hohen Seltenerdelement-Gehalten deutlich von den basischen Gesteinen ab, die niedrige Seltenerdelement-Gehalte und eine geringe Anreicherung an leichten Seltenerdelementen zeigen. Dies deutet eher auf primäre Unterschiede in der Magmenentwicklung als auf Differentiation hin. Die Untersuchungen sind hierzu noch nicht abgeschlossen. Insgesamt belegen die Seltenerdelement-Gehalte, dass kein «normal mid ocean ridge basalt» (N-Type MORB, SUN et al., 1979) vorliegt, der sich durch flache Seltenerdelement<sub>(CN)</sub>-Verteilungsmuster und ge-

ringe Gehalte an leichten Seltenerdelementen auszeichnen würde.

In den *MORB-normierten Elementverteilungskurven* (Normierung nach PEARCE, 1982) fallen die mobilen Elemente durch uneinheitliches Verhalten und weite Streuungen auf, während die allgemein als stabil geltenden Elemente (z.B. SAUNDERS und TARNEY, 1984) homogene Verteilungskurven zeigen, die gut mit denen subrezenter Basalte zu vergleichen sind (Abb. 7). Die mobilen Elemente werden daher zur Interpretation nicht herangezogen.

Der Grossteil der untersuchten Gesteine, die Gruppe «hinteres Saalachtal + östliche Grauwackenzone» (Abb. 7) zeigen die typische Elementverteilung von Alkalibasalten Ozeanischer Inseln. Die «bauchigen» Verteilungskurven mit starker Anreicherung der Elemente Th bis Ti sind charakteristisch für Intraplattenbasalte (Abb. 7; PEARCE, 1982; PEARCE et al., 1984; SAUNDERS, 1984).

Bei den Proben aus dem vorderen Saalachtal trennen sich auch hier wieder deutlich intermediäre und basaltische Anteile. Eine eindeutige geotektonische Zuordnung lässt sich nicht finden. Die Basalte zeigen anhand der relativ flachen Verteilungsmuster eine Tendenz zu «N-type» MORBs. Eine Zuordnung dieser Gesteine zu einem Mittelozeanischen Rücken ist jedoch, wie oben und unter 4. gezeigt wird, nicht sinnvoll. Basalte mit ähnlich uneinheitlicher geochemischer Charakteristik werden aus «marginal basin»-Bereichen beschrieben. Hier können, insbesondere bei beginnendem spreading oder in kontinentalen spreading-Bereichen, Basalte gefördert werden, die geochemisch zweideutige Bilder zeigen (PEARCE, 1980; SAUNDERS et al., 1980; 1982; WEAVER et al., 1979). Daneben lassen sich auch Ähnlichkeiten mit Basalten finden, wie sie an Ozeanischen Plattformen, z.B. dem Azoren-Plateau, auftreten.

Keine Ähnlichkeit haben die basaltischen Gesteine der Grauwackenzone mit den charakteristischen Verteilungsmustern aus Inselbögen, die sich durch eine selektive Anreicherung einiger typischer Elemente auszeichnen und damit stark gezackte Verteilungskurven ergeben (PEARCE, 1982; SSZ-Komponente, PEARCE et al., 1984).

Die geochemischen Daten belegen, dass der Grossteil der basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone einer geotektonischen Position innerhalb einer Platte zugeordnet wer-

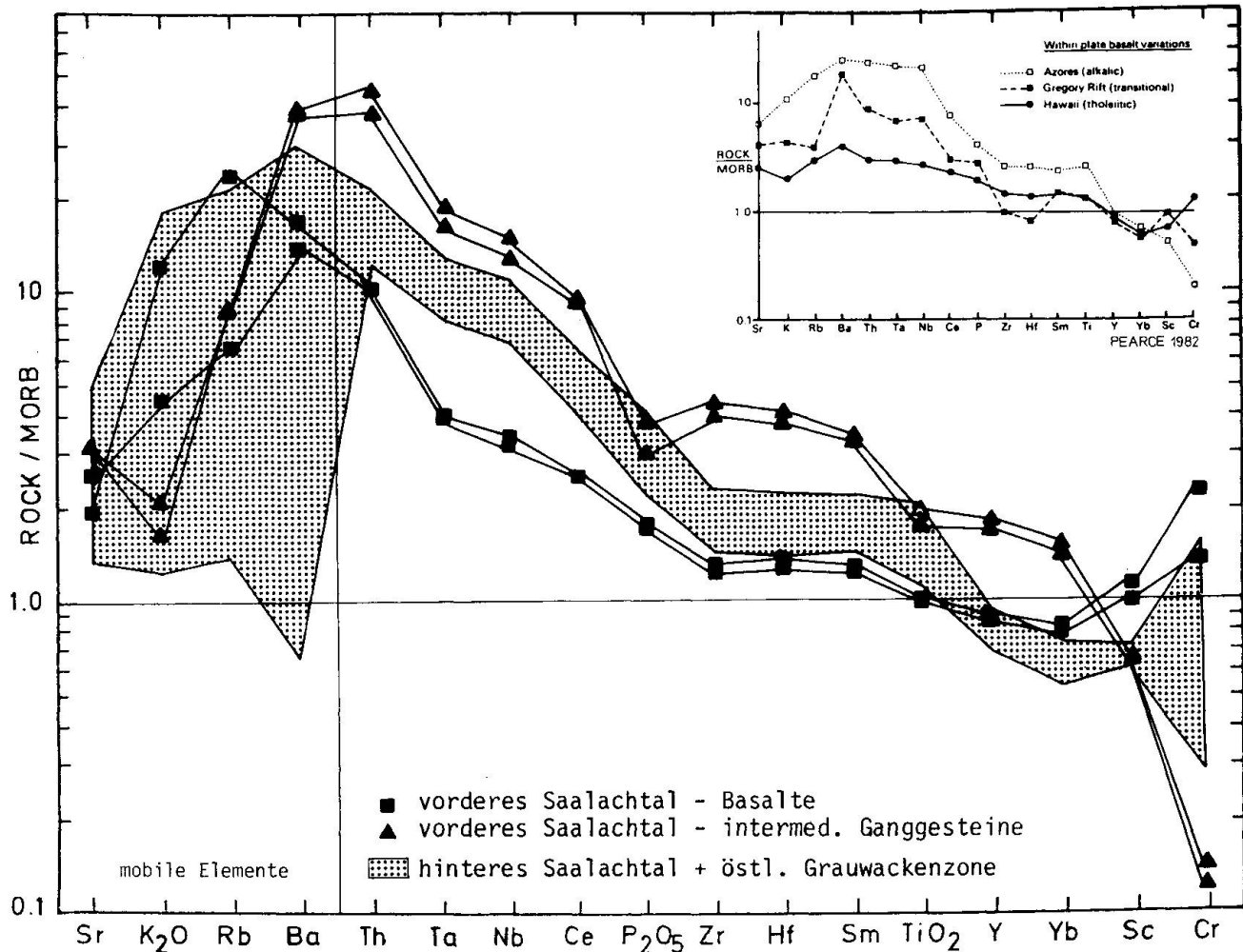


Abb. 7 MORB-normierte Elementverteilungsmuster. Der Grossteil der untersuchten Gesteine zeigt anhand der immobilen Elemente die typischen Verteilungskurven von Alkalibasalten Ozeanischer Inseln. (Vorderes Saalachtal: n = 4; Hinteres Saalachtal: n = 4; östl. Grauwackenzone: n = 5)

den muss. Die Gesteine zeigen die geochemischen Eigenschaften von «transitional»- bzw. Alkalibasalten Ozeanischer Inseln.

## 9. Schlussfolgerungen

Aufgrund der petrographisch-vulkanologischen und geochemischen Charakteristika muss der basische Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone in zwei unterschiedlich zu interpretierende Gruppen aufgegliedert werden, die nicht mit der geographischen Trennung (östliche und westliche Grauwackenzone) übereinstimmen:

### 9.1. INTRAPLATTENMAGMATITE

Für den mengenmässig weit überwiegenden Anteil der basischen Gesteine der Grauwack-

enzone ist eine geotektonische Position innerhalb einer Platte belegt. Die Untersuchungsgebiete «östliche Grauwackenzone» und der Bereich «hinteres Saalachtal» (Raum Saalbach-Hinterglemm) der westlichen Grauwackenzone werden zu einer Gruppe zusammengefasst:

Hier treten vorwiegend blasenreiche Pillowlaven als mächtige Abfolgen in Lagenwechsel und lateraler Verzahnung mit verschiedenartigen Pyroklastika sowie deren epiklastischen Umlagerungsprodukten auf. Diese Abfolgen erreichen eine maximale Mächtigkeit von 400 m. Innerhalb der klastischen Sedimente finden sich gabbroide Ganggesteine, zu meist als Sills. Nur in der westlichen Grauwackenzone sind geringmächtige Pyroxenite aufgeschlossen. Anhand der weit verbreiteten Produkte eines explosiven Vulkanismus lässt sich

die Wassertiefe, in der die Gesteine gefördert wurden, auf < 500 m einengen (oberhalb des PCL). In Teilbereichen ergeben sich gute Übereinstimmungen mit den Abfolgen Ozeanischer Inseln, sogar kurzzeitige Auftauchphasen können belegt werden.

Die geochemischen Charakteristika weisen die vor allem an Ti, P, Zr und den leichten Seltenerdelementen stark angereicherten Gesteine («E-type» Basalte) den «transitional basalts» bzw. Alkalibasalten und einer geotektonischen Position innerhalb einer Platte zu. Ähnlichkeiten mit Basalten Ozeanischer Inseln werden deutlich. Somit ergibt sich eine Übereinstimmung mit den vulkanologischen Aussagen, die Abfolgen werden als vulkanische Hochzonen bzw. Teile Ozeanischer Inseln oder Seamounts interpretiert, die in einem flachmarinen Bereich existierten (vgl. Kap. 5).

## 9.2. THOLEIITE EINES «MARGINAL BASIN»

Eine Sonderentwicklung weist der Teilbereich «Vorderes Saalachtal» der westlichen Grauwackenzone (Raum Viehhofen-Maishofen) auf.

Hier treten blasenarme Pillow- und Schichtlaven in engem Verband mit gabbroiden Lagergängen und geringmächtigen Sedimentzwischenlagen auf. Die Abfolgen werden max. 300 m mächtig. In stratigraphisch ungesicherter Position finden sich intermediäre Ganggesteine. Zeugen eines explosiven Vulkanismus fehlen völlig, die Abfolgen werden daher größeren Wassertiefen zugeordnet (unterhalb des PCL).

Die Gesteine zeigen einen vorwiegend tholeiitischen Chemismus, sie sind weniger stark an inkompatiblen Elementen angereichert als die übrigen basischen Magmatite der Grauwackenzone. Plattentektonisch lassen sie sich nicht eindeutig zuordnen, aus der Gesamtheit der Merkmale wird ein Riftsystem innerhalb eines «marginal basin» im weitesten Sinne diskutiert, auch mit Teilbereichen einer Ozeanischen Plattform bestehen Ähnlichkeiten.

Für die basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone lässt sich eine Zuordnung zu einem Inselbogensystem, wie von HÖLL und MAUCHER (1976) oder LOESCHKE (1977) gefordert, nicht belegen. Auch das Modell eines voll entwickelten mittelozeanischen Rückens, nach COLINS et al. (1980) und MOST-

LER (1983, 1984) ist mit den vorliegenden Daten nicht vereinbar. Eine «back-arc»-Position im Sinne von FRISCH et al. (1984) oder ein kontinentaler Rift-Bereich mit tholeiitischen Förderprodukten (SCHÄFFER und TARKIAN, 1984) könnte lediglich für den kleinen Teilbereich des Vorderen Saalachtals (westliche Grauwackenzone) diskutiert werden.

Der Grossteil der basischen Magmatite der Nördlichen Grauwackenzone ist einer Position innerhalb einer Platte zuzuordnen (KOLMER, 1978). Eine Lage nahe eines passiven Kontinentalrandes, vergleichbar mit der der Kanarischen Inseln, wird wahrscheinlich (HEINISCH, 1988). Ein Zusammenhang mit einem aktiven Plattenrand, sei er konsumierender oder produzierender Art, besteht nicht. Damit ist auch die Theorie einer ordovizischen Kollisionsorogense anhand des basischen Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone nicht zu belegen.

Der Zusammenhang zwischen den geochemisch und vulkanologisch unterschiedlich charakterisierten, räumlich aber eng benachbarten Bereichen der westlichen Grauwackenzone ist noch nicht geklärt. Für das Gebiet des vorderen Saalachtals fehlen stratigraphische, tektonische und sedimentologische Daten noch weitgehend. Es muss zunächst weiter untersucht werden, ob es sich hier um eine kontinuierliche Änderung in der magmatischen Abfolge, z.B. unterschiedliche Stadien eines Dehnungsbereiches, oder um Gesteine verschiedener Altersstellung handelt. Weiterhin ist variszische oder alpidische Tektonik, die zu einer Annäherung von Gesteinskomplexen verschiedener Geschichte führte, ebenso wie das Terrane-Modell zu diskutieren.

Generell ist der basische Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone jedoch überwiegend ein Intraplattenmagmatismus, ein Zusammenhang mit einer aktiven Plattengrenze besteht nicht. Der Grossteil des devonisch-silurischen Vulkanismus wird auf ein Dehnungssystem innerhalb einer Platte und die Beeinflussung durch einen «mantle plume» zurückgeführt.

## Verdankungen

Prof. Dr. K. Weber-Diefenbach erstellte die Messprogramme für die EDRFA-Analytik in München. Die Analysen der Seltenerdelemente führte Prof. Dr. J. Hertogen in Leuven/Belgien durch. Die

Geländearbeiten wurden von der Geologischen Bundesanstalt Wien unterstützt. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft förderte die Untersuchungen im Rahmen einer Sachbeihilfe über drei Jahre.

### Literaturverzeichnis

- BECCALUVA, L., DI GIROLAMO, P., MACCIOTTA, G. and MORRA, V. (1983): Magma affinities and fractionation trends in ophiolites. *Ophioliti*, 1983, 8(3), 307-324.
- BÖGEL, H. and SCHMIDT, K. (1976): *Kleine Geologie der Ostalpen*. Ott Verlag, Thun (Schweiz), 217 S.
- COLINS, E., HOSCHEK, G., MOSTLER, H. (1980): Geologische Entwicklung und Metamorphose im Westabschnitt der Nördlichen Grauwackenzone unter besonderer Berücksichtigung der Metabasite. *Mitt. österr. geol. Ges.*, 71/72, 343-378.
- DICK, J.B. (1980): Vesicularity of Shikoku Basin basalt: A possible correlation with the anomalous depth of back-arc basins. *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, LVII, 895-901.
- EVENSEN, N.M., HAMILTON, P.J. and O'NIONS, R.K. (1978): Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 1199-1212.
- FISHER, R.V. (1961): Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72, 1409-1414.
- FISHER, R.V. (1984): Submarine volcanoclastic rocks. In: KOKELAAR, B.P. and HOWELLS, M.F. (Ed.): *Marginal basin geology*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 16, Blackwell Scientific Publications, 5-27.
- FISHER, R.V. and SCHMINCKE, H.-U. (1984): *Pyroclastic rocks*. Springer, Berlin, 472 S.
- FRISCH, W., NEUBAUER, F. and SATIR, M. (1984): Concepts of the evolution of the Austroalpine basement complex (Eastern Alps) during the Caledonian-Variscan Cycle. *Geol. Rdsch.*, 73/1, 1-23.
- GARCIA, M.O., LIU, W.K. and MUENOW, D.W. (1979): Volatiles in submarine volcanic rocks from the Mariana Island arc and trough. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 305-312.
- HEINISCH, H. (1986): *Die Geologie der Nördlichen Grauwackenzone zwischen Kitzbühel und Zell am See und ihre Bedeutung für die Rekonstruktion der altpaläozoischen Geodynamik des Ostalpenraumes*. Unveröff. Habilitationsschrift, München, 291 S.
- HEINISCH, H. (1988): Hinweise auf die Existenz eines passiven Kontinentalrandes im Altpaläozoikum der Nördlichen Grauwackenzone-Ostalpen. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 3/68, 407-418.
- HEINISCH, H., HERTOGEN, J. and SCHLAEGEL, P. (1988): Ausgewählte Spurenelement-Daten von metamorphen basischen Magmatiten aus der nördlichen Grauwackenzone, Österreich. *Jb. Geol. B.-A.*, 131,2, 267-278.
- HEINISCH, H., SPRENGER, W. and WEDDIGE, K. (1987): 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.
- HÖLL, R. and MAUCHER, A. (1976): The strata-bound ore deposits in the Eastern Alps. In: WOLF, K.H. (Ed.): *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*, 5, Elsevier, Amsterdam, 1-30.
- JENSEN, L.S. (1976): A new cation plot for classifying subcalic volcanic rocks. *Ont. Dept. Mines Paper*, 66.
- KOLMER, H. (1978): Die Verteilung von Ti, Sr, Y und Zr in splittischen Gesteinen der Steiermark. *Mitt. natw. Ver. Steiermark*, 108, 31-43.
- LOESCHKE, J. (1977): Kaledonischer eugeosynklinaler Vulkanismus Norwegens und der Ostalpen im Vergleich mit rezentem Vulkanismus unterschiedlicher geotektonischer Positionen: Eine Arbeitshypothese. *Z. dtsh. geol. Ges.*, 128, 185-207.
- MASUDA, A., NAKAMURA, N. and TANAKA, T. (1973): Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 239-248.
- MOSTLER, H. (1983): Magmatisch kontrollierte Vererzungen im Ordovizium der Grauwackenzone (Salzburg-Tirol). *Geol. paläont. Mitt. Innsbr.*, 12, 341-359.
- MOSTLER, H. (1984): Erfassung basischer Massengesteine im Raum Mittersill-Zell a. See-Salzburg. *Arch. Lagerstforsch. (Ostalpen)*, 5, 105-115.
- MULLEN, H. (1983): MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: A minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 62, 53-62.
- NAKAMURA, N. (1974): Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 757-775.
- PEARCE, J.A. (1980): Geochemical evidence for genesis and eruptive setting of lavas from Tethyan ophiolites. In: PANAYIOTON, A. (Ed.): *Ophiolites*. *Proc. Int. Ophiolite Symp. Cyprus*, 1979, 261-272.
- PEARCE, J.A. (1982): Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: THORPE, R.S. (Ed.): *Andesites*, J. Wiley & Son, Chichester, 525-548.
- PEARCE, J.A., LIPPARD, S.J. and ROBERTS, S. (1984): Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. In: KOKELAAR, B.P. and HOWELLS, M.F. (Ed.): *Marginal basin geology*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 16, Blackwell Scientific Publications, 77-94.
- PEARCE, J.A. and NORRIS, M.J. (1979): Petrogenic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contr. Mineral. Petrol.*, 69, 33-47.
- SAUNDERS, A.D. (1984): The rare earth element characteristics of igneous rocks from the ocean basins. In: HENDERSON, P. (Ed.): *Rare earth element geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, 205-236.
- SAUNDERS, A.D., FORNARI, D.J. and MORRISON, M.A. (1982): The composition and emplacement of basaltic magmas produced during the development of continental-margin basins: The Gulf of California, Mexico. *J. Geol. Soc. Lond.*, 139, 335-346.
- SAUNDERS, A.D. and Tarney, J. (1984): Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins. In: KOKELAAR, B.P. and HOWELLS, M.F. (Ed.): *Marginal basin geology*. *Geol. Soc.*

- Spec. Pub., 16, Blackwell Scientific Publications, London, 59-76.
- SAUNDERS, A.D., TARNEY, J., MARSH, N.G. and WOOD, D.A. (1980): Ophiolites as an ocean crust or marginal basin crust: A geochemical approach. In: PANAYIOTON, A. (Ed.): Ophiolites. Proc. Int. Ophiolite Symp. Cyprus, 1979, 193-204.
- SCHÄFFER, U. und TARKIAN, M. (1984): Die Genese der stratiformen Sulfidlagerstätte Kalwang (Steiermark), der Grüngesteine und einer assoziierten silikatischen Eisenformation. Tscherm. mineral. petrogr. Mitt., 33, 169-186.
- SCHLAEGEL, P. (1988): Der basische Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone, oberostalpinen Paläozoikum, Österreich. Diss. Univ. München, in Vorbereitung.
- SCHÖNLAUB, H.P. (1982): Die Grauwackenzone in den Eisenerzer Alpen (Österreich). Jb. geol. B.-A., 124, 361-423.
- SUN, S.S. and NESBITT, R.W. (1978): Geochemical regularities and genetic significance of ophiolitic basalts. Geology, 6, 689-693.
- SUN, S.S., NESBITT, R.W. and SHARASKIN, A.Y. (1979): Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. Earth Planet. Sci. Lett., 44, 119-138.
- TARNEY, S., SAUNDERS, A.D., MATTEY, D.P., WOOD, D.A. and MARSH, N.G. (1981): Geochemical aspects of back-arc spreading in the Scotia Sea and Western Pacific. Phil. Trans. r. Soc. Lond., 300, 263-285.
- TOLLMANN, A. (1973): Grundprinzipien der alpinen Deckentektonik. XXIII, Deuticke, Wien, 404 S.
- WEAVER, S.D., SAUNDERS, A.D., PANKHURST, R.J. and TARNEY, J. (1979): A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading. Contr. Mineral. Petrol., 68, 151-169.
- WINCHESTER, J.A. and FLOYD, P.A. (1976): Geochemical magma type discrimination. Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. Earth and planet. Sci. Lett., 28, 459-469.
- WINKLER, G.F. (1979): Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer, Berlin, 348 S.

Manuskript eingegangen 22. April 1988; überarbeitetes Manuskript angenommen 18. Juli 1988.