

# Zur Geochemie basischer Vulkanite aus dem Grazer Paläozoikum

Von Jörg LOESCHKE

Mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen (im Text)

Eingelangt am 1. Februar 1988

**Zusammenfassung:** Es werden die Ergebnisse von 10 Haupt- und Spurenelement-Analysen basischer vulkanogener Gesteine des Grazer Paläozoikums mitgeteilt. Bei den untersuchten Gesteinen handelt es sich teils um Pillowlaven spilitischer Zusammensetzung und teils um stark metasomatisch umgewandelte Ultrabasite und Tuffe/Tuffite. Die als echte Erstarrungskörper anzusprechenden Gesteine, deren primärmagmatische, chemische Zusammensetzung aufgrund immobiler Spurenelemente noch erkennbar ist, stellen ehemalige Alkali-Basalte dar, die im Intraplattenbereich gefördert worden sind. Ihr Auftreten im Grazer Paläozoikum läßt auf Rift-Prozesse während des Silur bis Mittel-Devons schließen, die sich auf einer in ihrer Dicke leicht reduzierten kontinentalen Kruste abspielten.

## Einleitung

In und unter devonischen Schichten des Grazer Paläozoikums treten an verschiedenen Stellen basische Vulkanite auf, die als untere Schichten von Kehr, Grünschiefer in der Kalkschiefer-Folge, Diabase, Tuffe, Tuffite der Tyrnaueralm-Formation, der Hackensteiner-Formation u. a. bekannt sind (ANGEL 1932, GOLLNER et al. 1982, EBNER 1983, EBNER et al. 1983, FLÜGEL & NEUBAUER 1984). In den Schichten von Kehr ist oberes Silur belegt. Die Kalkschiefer-Folge gehört wahrscheinlich in das Obersilur bis (?) Eifel, die Hackensteiner-Formation in das Silur bis Unterdevon und die Tyrnaueralm-Formation in das Givet (GOLLNER et al. 1982, FLÜGEL & NEUBAUER 1984, HUBAUER 1986). Somit ist ein silurischer bis mitteldevonischer basischer Vulkanismus im Grazer Paläozoikum weit verbreitet.

Dieser Vulkanismus spielt im Rahmen der paläozoischen Krustenentwicklung der Ostalpen insofern eine wichtige Rolle, als er biostratigraphisch relativ gut belegt ist und Rift-Prozesse während des Silurs bis Mitteldevons offenbart. Es wurden aus diesem Grunde die von KOLMER (1978) begonnenen Arbeiten ergänzt und zusätzlich 12 Proben von verschiedenen Lokalitäten entnommen, um die geochemische Zusammensetzung dieser Vulkanite zu bestimmen. Die Analysen wurden mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz in der Abteilung Geochemie des Mineralogischen Institutes Tübingen nach den Methoden von NORRISH & CHAPPEL (1977) durchgeführt, wobei 15 internationale Standards zur Erstellung der Eichkurven verwandt wurden.

Die Probenahme-Punkte sind aus Abbildung 1 zu ersehen. Die geochemische Zusammensetzung ist in den Tabellen 1 und 2 aufgelistet. Es handelt sich um Spilite (Pillowlaven), Chloritschiefer und Aschenlagen aus der Kalkschiefer-Folge östlich des Hochlantsch (Proben KS 52, KS 53, KS 54, KS 55, KS 57), um pyroklastische Sedimente aus der Tyrnaueralm-Formation südwestlich des Hochlantsch, von denen allerdings keine Analysen angefertigt wurden, und um Spilite und Grünschiefer (Pillowlaven und

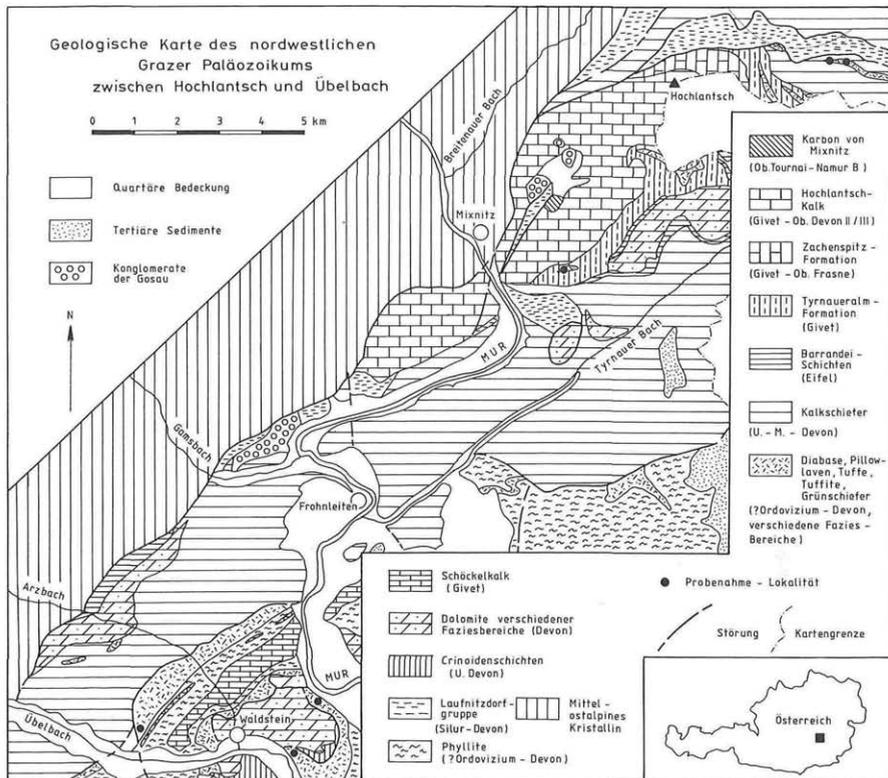


Abb. 1: Vereinfachte geologische Karte des nordwestlichen Grazer Paläozoikums zwischen Hochlantsch und Übelbach nach EBNER et al. (1983), die die Probenahme-Lokalitäten zeigt.

Tuffe) östlich und westlich von Waldstein, die unter Dolomiten bzw. dem Schöckelkalk auftreten (Proben KS 60, KS 61, KS 62, KS 63, KS 64).

## Petrographie – Geochemie

Die Gesteine sind feinkörnig und bestehen überwiegend aus Albit und Chlorit. Nur in den wenigsten Fällen sind es echte Erstarrungskörper (Proben KS 53, KS 54, KS 57, KS 60, Tabelle 1). In diesen Fällen handelt es sich um Spilite, die noch ein porphyrisches Gefüge mit albitisierten Plagioklas-Einsprenglingen erkennen lassen, welche in einer Grundmasse aus Chlorit, Epidot, Karbonat, Leukoxen und Erz liegen. Obwohl ihre chemische Zusammensetzung durch metasomatische Austauschvorgänge während der hydrothermalen Durchströmung bei der Abkühlung sowie während der schwachen Metamorphose verändert worden ist, kann man sie dennoch als Abkömmlinge von Alkali-Basalten ansprechen. Dies ist deshalb möglich, weil die  $TiO_2$ - und  $P_2O_5$ -Gehalte relativ hoch sind (Tab. 1, Abb. 2) und sich Ti und P bei sekundären Austauschvorgängen im wesentlichen immobil verhalten und somit den primär-magmatischen Stoffbestand widerspiegeln (LOESCHKE 1979, PEARCE & NORRY 1979, PEARCE 1983). Andere Elemente, vor allem Si, Ca, Na und K, sind weniger diagnostisch, da sie von sekundären Austauschprozessen besonders betroffen sein können (MASON & MOORE 1982, S. 160).

Tab. 1: Haupt- und Spurenelementgehalte und CIPW-Norm von einem Chloritschiefer (KS 52) und 4 Spiliten (KS 53, KS 54, KS 57, KS 60) aus dem Grazer Paläozoikum. Die Lokalitäten sind aus dem Text und der Abb. 1 zu ersehen. Analytikerin: M. FETH (Abt. Geochemie, Mineralogisches Institut Tübingen). Methoden nach NORRISH & CHAPPEL (1977). Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte von einem Alkali-Basalt aus der Afar-Senke (Boina-Vulkan, BARBERI et al. 1975) mit angegeben. o. A. = ohne Angabe.

Probe	KS 52	KS 53	KS 54	KS 57	KS 60	AFAR
SiO <sub>2</sub>	38,1	46,3	44,8	46,9	42,0	47,00
TiO <sub>2</sub>	1,8	3,2	3,3	3,9	4,1	3,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,6	15,8	16,2	16,1	15,2	13,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,7	7,4	7,7	4,2	5,1	7,82
FeO	5,0	5,5	6,7	7,9	9,2	8,22
MnO	0,12	0,16	0,15	0,10	0,11	0,19
MgO	11,9	5,2	5,7	4,5	4,0	4,84
CaO	9,8	7,0	4,4	3,6	7,5	8,62
Na <sub>2</sub> O	< 0,09	4,1	4,9	2,9	4,3	3,70
K <sub>2</sub> O	< 0,16	0,35	0,44	4,6	0,69	1,55
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	7,3	3,4	4,7	3,5	4,00	0,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29	0,47	0,60	0,65	0,83	0,59
CO <sub>2</sub>	7,8	0,63	-	0,61	2,7	o. A.
Summe	99,41	99,51	99,59	99,46	99,73	99,62
Ba ppm	78	189	183	759	378	541
Cr	913	< 62	74	< 62	< 62	18
Nb	31	41	48	54	39	o. A.
Ni	406	< 38	< 38	< 38	< 38	10
Rb	< 8	9	12	46	19	33
Sr	243	917	249	60	122	462
V	216	297	242	328	388	o. A.
Y	18	26	28	30	27	o. A.
Zr	122	220	211	215	198	260
CIPW-Norm						
Q	22,5	2,4	-	-	-	-
C	13,6	-	1,2	2,9	2,1	-
or	-	2,2	2,7	28,3	4,3	9,2
ab	-	36,1	43,1	25,6	38,0	31,3
an	-	24,6	18,9	10,2	15,4	15,0
di	-	3,2	-	-	-	19,1
hy	34,0	12,0	8,8	14,1	13,9	3,0
ol	-	-	4,9	1,8	2,1	2,7
mt	9,0	9,3	11,8	6,3	7,7	11,3
hm	-	1,3	-	-	-	-
il	3,7	6,3	6,6	7,7	8,1	5,9
ap	0,8	1,2	1,5	1,6	2,1	1,4
cc	19,3	1,5	-	1,4	6,4	-

Tab. 2: Haupt- und Spurenelementgehalte und CIPW-Norm von 5 Tuffen und Tuffiten aus dem Grazer Paläozoikum. Die Lokalitäten sind aus dem Text und der Abb. 1 zu ersehen. Analytikerin: M. FETH (Abt. Geochemie, Mineralogisches Institut Tübingen). Methoden nach NORRISH & CHAPPEL (1977).

Probe	KS 55	KS 61	KS 62	KS 63	KS 64
SiO <sub>2</sub>	43,3	49,5	39,9	51,2	40,0
TiO <sub>2</sub>	4,1	2,6	3,4	2,1	2,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,5	20,5	13,2	15,4	14,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35	2,0	2,9	4,7	1,3
FeO	0,59	4,6	6,1	4,0	8,7
MnO	0,05	0,05	0,20	0,12	0,12
MgO	1,2	1,9	1,8	3,4	5,1
CaO	13,9	3,8	13,4	6,3	5,4
Na <sub>2</sub> O	< 0,09	3,8	3,8	4,7	2,6
K <sub>2</sub> O	5,9	4,1	1,1	0,92	3,7
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2,2	3,3	2,7	2,8	1,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,74	0,54	0,46	0,50	0,41
CO <sub>2</sub>	10,9	2,9	10,4	4,0	13,4
Summe	98,73	99,59	99,36	100,14	99,43
Ba ppm	393	760	325	440	1812
Cr	< 62	< 62	498	128	73
Nb	50	37	27	34	29
Ni	< 38	< 38	60	59	102
Rb	53	54	20	25	72
Sr	101	175	437	432	228
V	283	276	358	210	333
Y	39	29	26	27	29
Zr	270	289	208	288	202
CIPW-Norm					
Q	21,8	9,3	10,6	14,4	25,1
C	11,3	11,3	6,8	5,8	28,8
or	36,1	25,2	6,7	5,6	22,3
ab	–	33,4	33,3	40,9	22,5
an	–	–	–	2,8	–
hy	3,1	7,6	8,3	8,9	23,5
mt	–	3,0	4,4	7,0	1,9
hm	0,4	–	–	–	–
il	1,4	5,1	6,7	4,1	5,6
ru	3,5	–	–	–	–
ap	1,8	1,3	1,1	1,2	1,0
cc	25,7	6,8	24,5	9,3	31,1

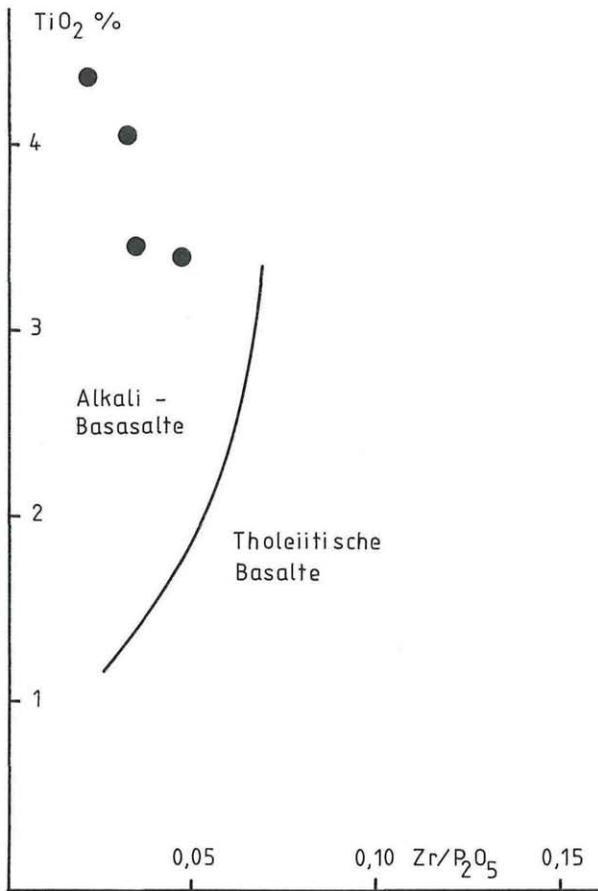


Abb. 2: TiO<sub>2</sub>-Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Diagramm nach FLOYD & WINCHESTER (1975) für 4 Spilite aus dem Grazer Paläozoikum. Die TiO<sub>2</sub>-Werte sind H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>- und CO<sub>2</sub>-frei berechnet.

Die anderen in den Tabellen 1 und 2 aufgeführten Proben stellen Tuffe und mehr oder weniger stark metasomatisch veränderte vulkanogene Gesteine dar, die z. T. sehr schwer ansprechbar sind. So stellt Probe KS 52 einen Chloritschiefer dar, der hohe MgO-, CaO-, Cr- und Ni-Werte und niedrige SiO<sub>2</sub>- und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Werte aufweist und fast keine Alkalien führt. Es muß sich hierbei um ein ehemals ultrabasisches Differentiat, etwa an der Basis eines Lagerganges, handeln. Da Quarz im Dünnschliff auftritt und der H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>- und CO<sub>2</sub>-Gehalt sehr hoch sind, liegt hier wahrscheinlich ein ehemals olivin- und pyroxenreiches Kumulat vor, das durch hydrothermale und metamorphe Prozesse chloritisiert und karbonatisiert wurde, wobei Quarz frei wurde.

Die Proben KS 55, KS 61, KS 62 und KS 64 der Tabelle 2 lassen ihre Ähnlichkeit mit Tuffen alkalibasaltischer Zusammensetzung an Hand der hohen TiO<sub>2</sub>- und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalte teilweise noch erkennen, weichen aber sonst in ihrer Zusammensetzung durch hohe CaCO<sub>3</sub>-Gehalte (KS 55, KS 62, KS 64) oder durch hohe Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte (KS 61) von einer alkalibasaltischen Zusammensetzung stark ab. Die Probe KS 55 stammt aus einer weißen, einige Dezimeter dicken Aschenlage, die in Grünschiefer innerhalb der Kalkschiefer östlich des Hochlantsch eingeschaltet ist. Sie besteht vorwiegend aus Serizit, Karbonat

und Erz (wahrscheinlich Titanomagnetit), welches weitgehend in Leukoxen übergegangen ist. Probe KS 63 ist ein im Dünnschliff klar erkennbarer Lapilli-Tuff östlich von Waldstein, der chemisch bis auf einen erhöhten  $H_2O^+$ - und  $CO_2$ -Gehalt noch weitgehend einem alkalibasaltischen Differentiat (Hawaiit) ähnelt. Probe KS 64 stellt eine helle, etwa 10 m dicke Tufflage dar, die sich über etwa 1 km Länge westlich Waldstein an der Straße zum Gehöft Topenauer verfolgen läßt und innerhalb von Phylliten unter Korallen führenden Riffschuttkalken liegt.

Da diese Gesteine hohe normative Korund- und Calcit-Werte besitzen und ihre pyroklastische Natur klar erkennbar ist, wurden sie bei der folgenden Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

Südwestlich des Hochlantsch (Rote Wand) liegt zwischen Dolomiten und fossilienführenden Kalken der Tyrnaueralm-Formation (Givet) eine ca. 30 m mächtige Abfolge pyroklastischer Sedimente (GOLLNER 1983, FLÜGEL & NEUBAUER 1984), die im Dünnschliff chloritisierte und karbonatisierte ehemals basaltische Glasscherben führen, welche sich durch zahlreiche Bläschen auszeichnen (Abb. 3). Als Fragmente kommen außerdem Spilit- und untergeordnet Karbonatbruchstücke vor. Die Abfolge ist gut geschichtet, und die einzelnen Lagen sind undeutlich normal oder auch invers gradiert (Abb. 4). Ob die pyroklastischen Lagen auf eine Förderung im subaerischen oder submarinen Bereich zurückzuführen sind, läßt sich nicht eindeutig entscheiden. Der Reichtum an Blasen in den ehemals glasigen Fragmenten und die überwiegend feine Korngröße legt die Vermutung nahe, daß die Lava bei der Explosion Berührung mit Wasser hatte und sofort abgeschreckt wurde. Die Explosion erfolgte deshalb wahrscheinlich im Flachwasserbereich (FISHER & SCHMINCKE 1984, S. 276). Da die Karbonatkörner und die Spilitbruch-

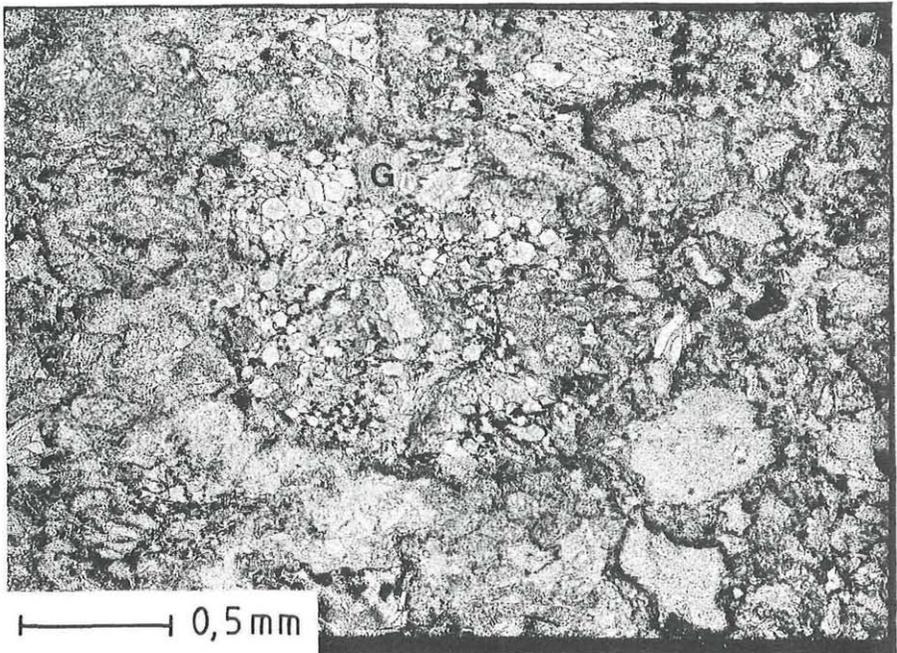


Abb. 3: Dünnschliff-Photographie einer pyroklastischen Lage aus dem Givet des Grazer Paläozoikums (Lokalität: Rote Wand, südwestlich des Hochlantsch). G = chloritisierte ehemals basaltische Glasscherben, die zahlreiche Bläschen führen.

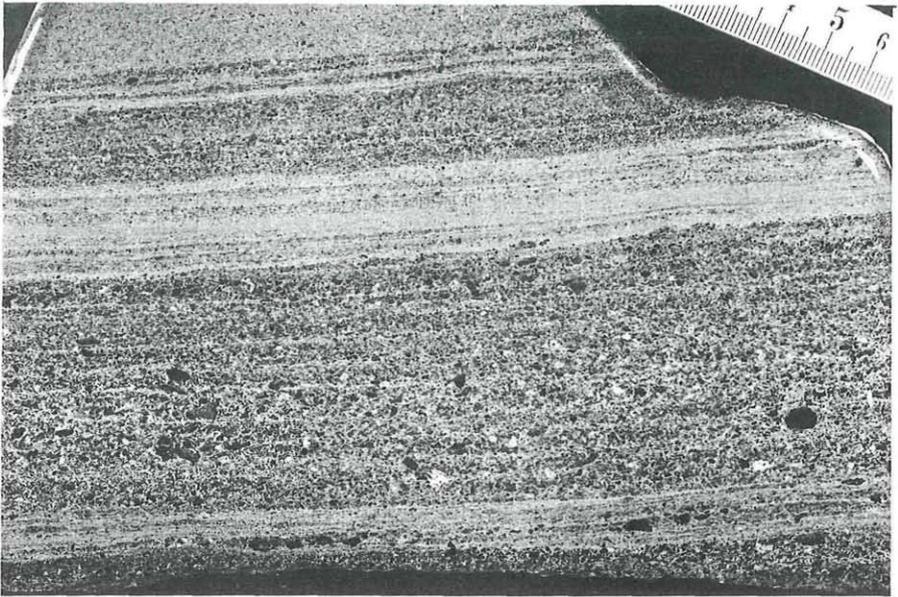


Abb. 4: Anschliff-Photographie pyroklastischer Lagen aus dem Givet des Grazer Paläozoikums (Lokalität: Rote Wand, südwestlich des Hochlantsch). Maßstab in cm.

stücke angerundet sind und die größten Spilit- und Karbonat-Fragmente nicht an der Basis einer Schicht liegen, stellt die Abfolge wahrscheinlich resedimentiertes pyroklastisches Material dar.

Um den Bezug zwischen den untersuchten basischen Erstarrungskörpern und rezenten Basalten unterschiedlicher geotektonischer Positionen herzustellen (PEARCE 1983, 1987), wurden die vier Analysen der basischen Erstarrungskörper in die Diagramme der Abbildungen 5, 6 und 7 eingetragen.

Wie das Ti-Zr-Diagramm (PEARCE 1983) der Abb. 5 zeigt, fallen die vier Analysen in das Feld der Intraplattenbasalte. Sie haben sehr große Ähnlichkeiten mit den basischen Vulkaniten, die von KOLMER (1978) untersucht worden sind.

In Abb. 6, die das  $\text{TiO}_2 - \text{MnO} \times \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$  - Diagramm nach MULLEN (1983) darstellt, fallen die vier Analysen in das Feld der Alkali-Basalte ozeanischer Inseln. Diese Abbildung wurde von MULLEN (1983) allerdings nur für Basalte ozeanischer Bereiche entworfen und sagt nichts darüber aus, ob die basischen Vulkanite des Grazer Paläozoikums auf ozeanischer oder kontinentaler Kruste gefördert worden sind.

Auf Abb. 7 (PEARCE 1982) zeigen sich Ähnlichkeiten mit alkalischen Intraplattenbasalten. Die Nb-, Zr- und  $\text{TiO}_2$ -Werte sind deutlich höher als diejenigen von Shoshoniten, die zwar ebenfalls alkalibetonte basaltische Gesteine darstellen, aber über Subduktionszonen kontinentwärts von Tiefseerinnen auftreten (PEARCE 1982).

Es kann aus diesen Gründen nicht daran gezweifelt werden, daß die untersuchten basischen Laven aus dem Grazer Paläozoikum ehemalige alkalische Intraplattenbasalte darstellen – ein Befund, der auch schon von KOLMER (1978) festgestellt worden ist.

### Geotektonische Position und Krustenunterlage

Die geotektonische Position der basischen Vulkanite im Grazer Paläozoikum wäre so zu verstehen, daß sich im Silur und Devon Rift-Vorgänge abspielten, wobei an

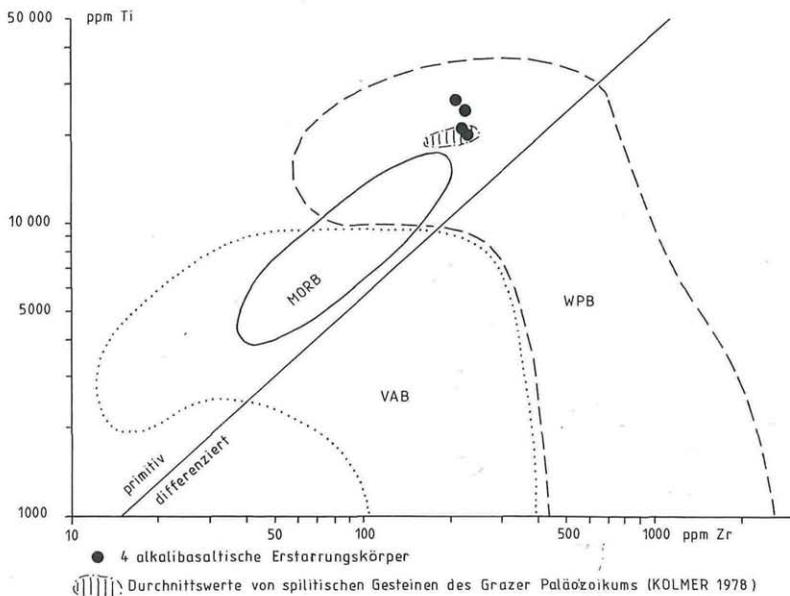


Abb. 5: Ti-Zr-Diagramm nach PEARCE (1983) für 4 Spilite aus dem Grazer Paläozoikum. Die Werte sind  $H_2O^+$ - und  $CO_2$ -frei berechnet. Zum Vergleich sind die von Kolmer (1978) untersuchten spilithischen Gesteine des Grazer Paläozoikums mit eingetragen. MORB = Feld der Basalte mittelozeanischer Rücken, VAB = Feld der Inselbogenlavas, WPB = Feld der Intraplattenlavas.

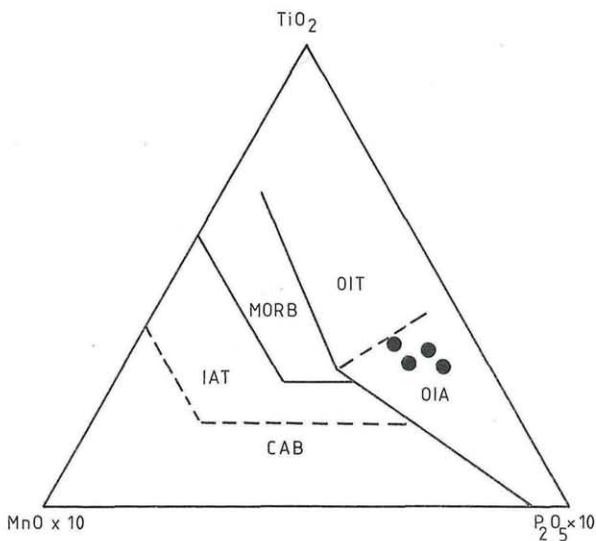


Abb. 6:  $MnO \times 10 - TiO_2 - P_2O_5 \times 10$ -Diagramm nach MULLEN (1983) für 4 Spilite aus dem Grazer Paläozoikum. OIA = Feld der Alkalibasalte ozeanischer Inseln, OIT = Feld der tholeiitischen Basalte ozeanischer Inseln, MORB = Feld der Basalte mittelozeanischer Rücken, IAT = Feld der Inselbogen-Tholeiite, CAB = Feld der Kalkkali-Basalte.

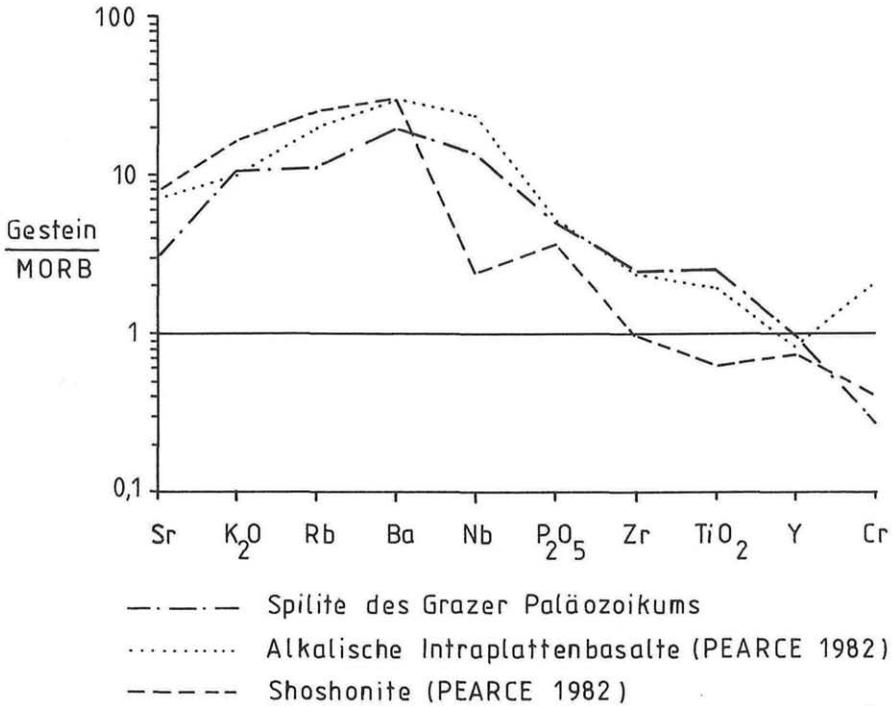


Abb. 7: Durchschnittswerte ausgewählter Haupt- und Spurenelemente von 4 Spiliten aus dem Grazer Paläozoikum, normiert mit entsprechenden Werten mittelozeanischer Rückenbasalte (MORB) nach PEARCE (1982). Zum Vergleich sind die Verteilungskurven von alkalischen Intraplatten-Basalten und Shoshoniten nach PEARCE (1982) mit eingetragen.

tiefreichenden Brüchen alkalibasaltische Schmelzen aus dem Mantel aufstiegen, die die Förderung von Laven und Tuffen im submarinen bzw. subaerischen Bereich gestatteten. Diese Laven haben Ähnlichkeiten mit Alkali-Basalten, die in Bruchzonen am Übergang zwischen kontinentaler und ozeanischer Kruste gefördert werden wie z. B. in der Afar-Senke (Tab. 1, letzte Spalte). Die paläogeographische Lage der Ostalpen zur Zeit des Devons in niederen Breiten (SMITH et al. 1981) gestattete eine weit verbreitete Karbonat-Sedimentation, die sich mit der Förderung basaltischer Laven und Tuffe intensiv verzahnte.

Die unterlagernde Kruste war sicher kontinentaler Natur, was man aus der Natur der begleitenden Sedimente und dem Fehlen von Ophiolithen schließen kann. Man muß aber mit einer gewissen tektonischen Krustenausdünnung rechnen, da Alkali-Basalte besonders in kontinentalen Bruchzonen auftreten, die alle eine in ihrer Dicke leicht reduzierte Kruste wie z. B. in der Afar-Senke aufweisen (BERCKHEMER et al. 1975).

## Dank

Herrn Dr. H. GOLLNER und Herrn Dr. F. NEUBAUER (Graz) sei für Hilfe während einer Geländebegehung im Grazer Paläozoikum herzlich gedankt. Die chemischen Analysen wurden unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. H. FRIEDRICHSEN (Abteilung Geochemie, Mineralogisches Institut Tübingen) durchgeführt.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte die Untersuchungen durch Sachbeihilfe. Auch dafür sei herzlich gedankt.

## Literatur

- ANGEL, F. (1932): Diabase und deren Abkömmlinge in den österreichischen Ostalpen. – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark, **69**: 5–24.
- BARBERI, F., FERRARA, G., SANTACROCE, R. et al. (1975): A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallization, the Boina centre (Afar Rift, Ethiopia). *J. Petrol.*, **16**: 22–56.
- BERCKHEMER, H. BAIER, B., BARTELTEN, H. et al. (1975): Deep seismic soundings in the Afar region and on the highland of Ethiopia. – In: PILGER, A. & RÖSLER, A. (Hrsg.): Afar depression of Ethiopia. – S. 89–107, Schweizerbart, Stuttgart.
- EBNER, F. (1983): Erläuterungen zur geologischen Basiskarte 1: 50.000 der Naturraumpotentialkarte „Mittleres Murtal“. – Mitt. Abt. geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, **44**: 99–131.
- EBNER, F., BECKER, L. & NEUBAUER, F. (1983): Geologische Karte des mittleren Murtales. – Wien.
- FISHER, R. & SCHMINCKE, H.-U. (1984): Pyroclastic rocks. – 472 S., Springer, Berlin.
- FLOYD, P. & WINCHESTER, J. (1975): Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **27**: 211–218.
- FLÜGEL, H. & NEUBAUER, F. (1984): Steiermark. Erläuterungen zur geologischen Karte der Steiermark 1:200.000. – 127 S., Geol. Bundesanst. Wien.
- GOLLNER, H. (1983): Die Geologie des Hochlantschstockes (Grazer Paläozoikum, Steiermark). – Diss. Univ. Graz, 251 S., Graz.
- GOLLNER, H., THALHAMMER, O., TSCHELAUT, W. & ZIER, Chr. (1982): Die Laufnitzdorf-Gruppe – eine pelagische Fazies im Grazer Paläozoikum. – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark, **112**: 63–73.
- HUBAUER, N. (1986): Zur Kenntnis der Kalkschieferformationen zwischen Tyrnauergraben und Schremsbach (Grazer Paläozoikum, Steiermark). – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark, **116**: 97–107.
- KOLMER, H. (1978): Die Verteilung von Ti, Sr, Y und Zr in splitischen Gesteinen der Steiermark. – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark, **108**: 31–43.
- LOESCHKE, J. (1979): Zur Geochemie von Paläovulkaniten und ihrer Bedeutung für die Geodynamik. – *Clausth. geol. Abh.*, **30**: 133–145.
- MASON, B. & MOORE, C. (1982): Principles of geochemistry. – 350 S., John Wiley, Chichester.
- MULLEN, E. (1983): MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discrimination for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**: 53–62.
- NORRISH, K. & CHAPPEL, B. (1977): X-ray fluorescence spectrometry. – In: ZUSSMAN, J. (Hrsg.): Physical methods in determinative mineralogy. – S. 201–277, Academic Press, London.
- PEARCE, J. (1982): Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. – In: THORPE, R. (Hrsg.): Andesites. – S. 525–548, John Wiley, Chichester.
- PEARCE, J. (1983): A “user’s guide” to basalt discrimination diagrams. – Unveröff. Ber. 37 S., The Open University, Milton Keynes.
- PEARCE, J. (1987): An expert system for the tectonic characterization of ancient volcanic rocks. – *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **32**: 51–65.
- PEARCE, J. & NORRY, M. (1979): Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. – *Contrib. Mineral. Petr.*, **69**: 33–47.
- SMITH, A., HURLEY, A. & BRIDEN, J. (1981): Phanerozoic paleocontinental world maps. – 102 S., Cambridge Univers. Press., Cambridge.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. J. LOESCHKE, Institut für Geologie und Paläontologie, Sigwartstr. 10, D-74 Tübingen, Deutschland.