

Petrographie und Geochemie der Grüngesteine von Althofen (Altpaläozoikum der Murauer Decke, Steiermark)

Von FRANZ NEUBAUER*)

Mit 9 Abbildungen und 1 Tabelle

*Steiermark
Murauer Paläozoikum
Devon
Geodynamik
Basalte
Chemismus*

*Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 159*

Inhalt

Zusammenfassung	231
Abstract	231
1. Einführung	231
2. Methodik	233
3. Geländebefund	233
4. Geochemie	234
5. Diskussion	236
Dank	238
Literatur	238

Zusammenfassung

Im Altpaläozoikum der oberostalpinen Murauer Decke vorkommende massige Grünschiefer sind nach textuellen und Geländemerkmale als Ganggesteine anzusprechen. Die Geochemie der Grünschiefer weist auf Intraplattenbasalte, die von tholeiitischen zu alkalischen Basalten differenzieren. Ihre Entstehung im Rahmen von devonischen Riftprozessen wird diskutiert.

Abstract

Devonian (?) massive greenstones of the „Murauer Gruppe“ (Gurktal thrust system, Eastern Alps) are interpreted as basaltic sills and dykes due to field relationships, mineralogical and textural relics. The chemistry of the greenstones show some transitional character between tholeiitic to alkalic basalts of an intra-plate geotectonic setting. The greenstones are differentiated by crystal fractionation during rise of magma or emplacement. The basaltic protoliths were emplaced into Devonian (?) sediments during rift processes.

1. Einführung

Vulkanite nehmen bei der Rekonstruktion des geotektonischen Bildungsmilieus von Sedimentfolgen eine prominente Stellung ein. Vor allem zwei Faktoren lassen Aussagen zu, die chemische Zusammensetzung der vulkanischen Gesteine, die Schmelzprozesse im

Erdmantel bzw. der tiefen Kruste widerspiegelt, und – vielleicht zuwenig beachtet – die Formen der Platznahme vulkanischer Magmen (CAS & WRIGHT, 1987).

Vulkanische Folgen des schwachmetamorphen ostalpinen Paläozoikums sind vor allem an die basalen Schichtfolgen (Oberordoviz und Silur) geknüpft, während man solchen des Devons und Unterkarbons bisher nur untergeordnete Bedeutung zugemessen hat. Insgesamt spiegelt die wechselnde Geochemie der Vulkanite verschiedene geotektonische Prozesse zwischen Oberordoviz und Devon wieder (LOESCHKE, 1975, 1988a,b; FRITZ & NEUBAUER, 1989; GIESE, 1988; HEINISCH et al., 1988).

Im Murauer Paläozoikum (Steiermark, Österreich; siehe Abb. 1) kommen schwach metamorphe basische Vulkanite und Pyroklastika vor allem in der Metadiabasgruppe der Stolzalpendecke vor, während solche in der darunter liegenden Murauer Decke mengenmäßig zurücktreten. Unter den Metavulkaniten der letzteren Decke nehmen die von ANGEL (1955) und THURNER (1955) beschriebenen „Uralitdiabase“ von Althofen (Katschtal nordöstlich Murau) eine herausragende Stellung ein. In ihnen können wegen ihres geologischen Auftretens, ihrer primären Grobkörnigkeit und wegen ihres massigen Habitus noch primäre Minerale und magmatische Texturen vermutet werden, die zusammen mit der Geochemie der Gesteine Hinweise auf ihre Bildung geben könnten. Dies gilt umso mehr, als die primäre Grobkörnigkeit der Gesteine und die beschränkte Deformation (fehlende penetrative Schieferung und fehlende Korngrößenreduktion) nur geringe sekundäre Veränderung der chemischen Zusammensetzung erwarten läßt.

*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Doz. Dr. FRANZ NEUBAUER, Institut für Geologie und Paläontologie, Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz.

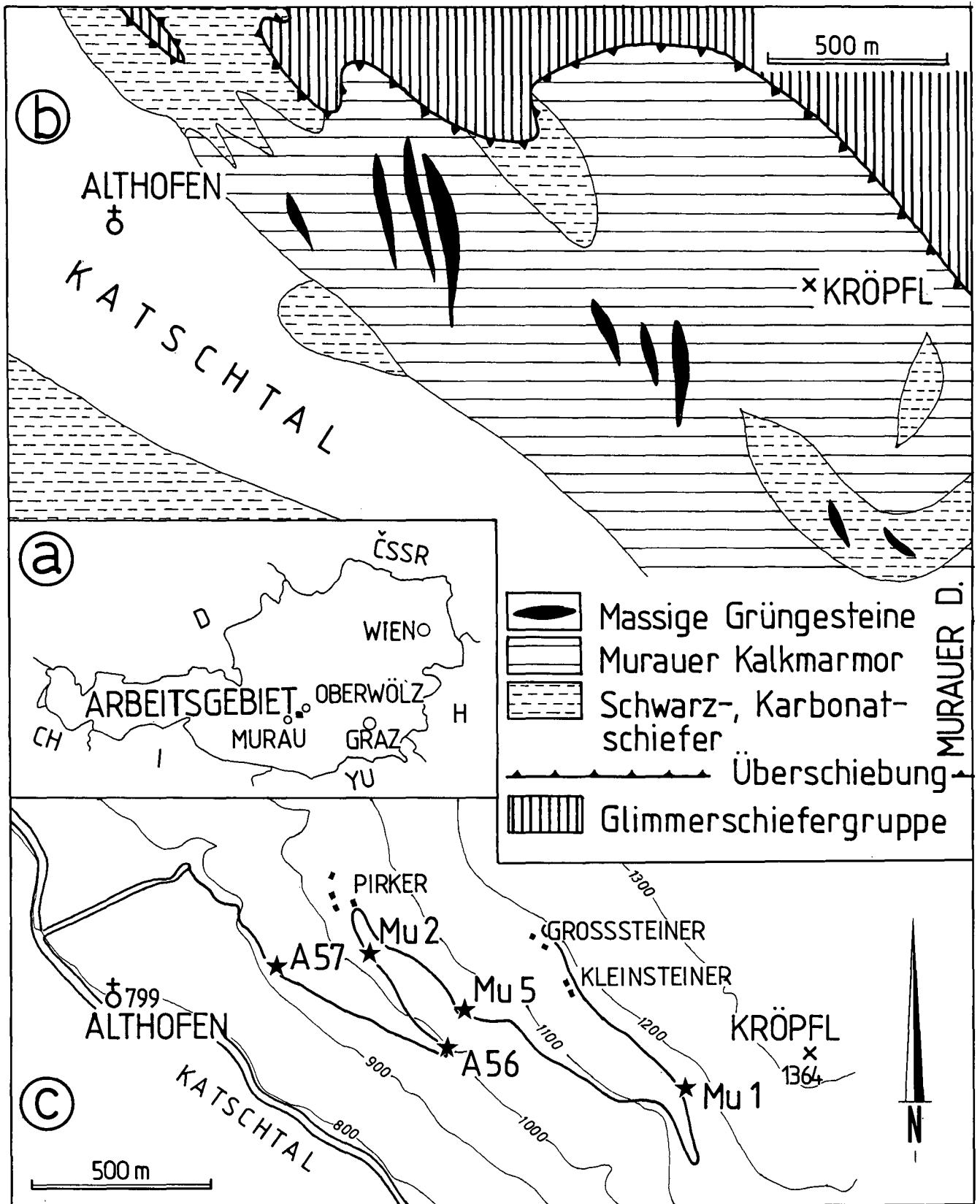


Abb. 1.
 Die Lage der basaltischen Gänge von Althofen innerhalb der Murauer Decke.
 a = Lageskizze; b = geologische Karte, vereinfacht nach v. GÖSEN (1982); c = Lage der Probenpunkte für geochemische Analysen.

2. Methodik

Haupt- und Spurenelemente von ausgewählten, frischen Proben wurden mittels Röntgenfluoreszenz am Zentrallaboratorium für Geochemie (zur Zeit der Analyse (1982/83): H. FRIEDRICHSEN, M. SATIR) bestimmt. Einige Elemente wurden vom Autor am Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen mit Atomabsorptionsspektralphotometrie (NaO, K₂O, MnO, MgO, CaO), Graphitrohrküvette (Cr) und Spektralphotometrie (P₂O₅) überprüft. Fe²⁺O wurde titrimetrisch, CO₂ gravimetrisch, H₂O nach der PENFIELD-Methode bestimmt (zur Methodik, siehe HERMANN, 1972).

3. Geländebefund und Petrographie

Die Grüngesteine sind an niedriggradig metamorphe Metasedimente der Murauer Decke gebunden. Nach den Kartendarstellungen von THURNER (1955, 1959)

sind dies vorwiegend Pleschaitz-Kalke, ein lithologisches Äquivalent der Murauer Kalkmarmore. Im Detail scheint das Gebiet jedoch komplexer aufgebaut zu sein, da einzelne Züge von NW-SE streichenden Schwarzschiefern und Karbonatschiefern am Aufbau des Gebietes beteiligt sind (tw. in der Karte von v. GÖSEN, 1982, berücksichtigt; siehe Abb. 1b). Die Grüngesteine bilden dickbauchige Linsen, die diskordant zum Streichen der lithologischen Züge lithologische Grenzen durchstoßen können. Dies ist auch im Aufschlußbereich erkennbar, z.B. in der Straßenkehre ca. 400 m SSE Gehöft Pirker (siehe Abb. 1c). Die einzelnen Grüngesteinslinsen können bis mehrere 100 m verfolgt werden, und sind mit maximal 10 m Dicke aufgeschlossen.

Die Grüngesteine sind grobkörnig und bestehen aus max. 7-8 mm großen, rundlichen Plagioklasen und 2-3 mm großen aktinolithischen Amphibolen. Durch Epidot/Klinozoisitsäume um Plagioklase wird ein ophitisches Gefüge nachgezeichnet (Abb. 2) Dabei können

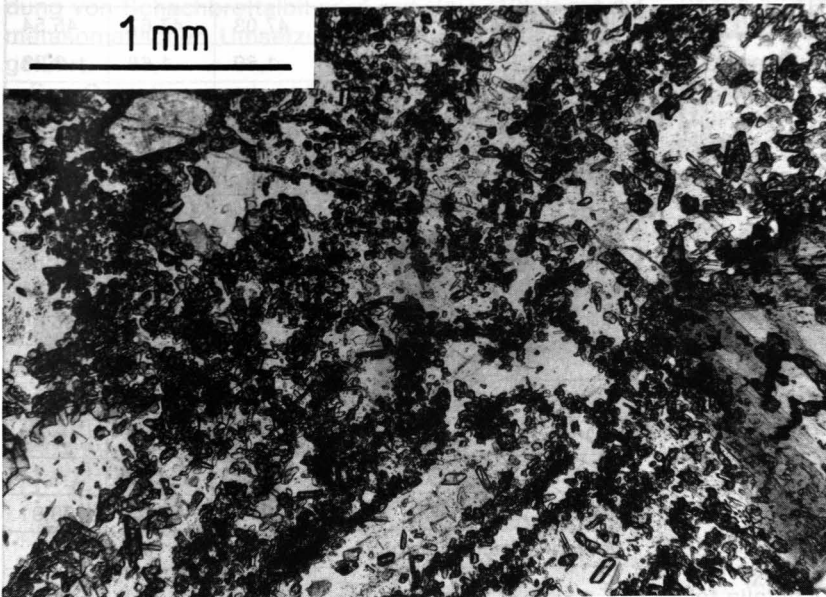


Abb. 2.
Nachzeichnung des primären, intersertalen Gefüges durch feinkörnigen Klinozoisit an den Rändern von Plagioklasen.
Nicols +.

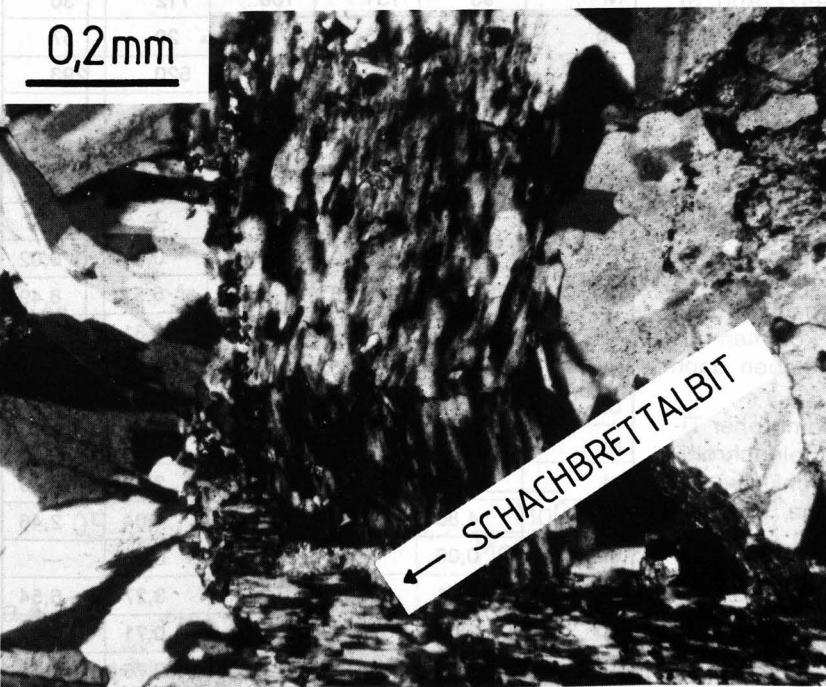


Abb. 3.
Perthitischer Alkalifeldspat, teilweise in Schachbrettalbit umgewandelt.
Nicols +.

4. Geochemie

Frische Proben der Grünschiefer waren nur in wenigen künstlichen Straßenaufschlüssen gewinnbar (zur Lage der Probenpunkte siehe Abb. 1c). Die Tab. 1 gibt die chemischen Daten der fünf analysierten Proben wieder. Ein erster Überblick belegt den basaltischen Chemismus der analysierten Proben.

Vulkanische Gesteine sind anfällig für Elementmobilität bei Verwitterung unter Einfluß von Meerwasser (z.B. MOTTI, 1983), unter subärischen Bedingungen sowie auch für Veränderungen bei Metamorphose, v.a. wenn die Metamorphose von Deformation begleitet

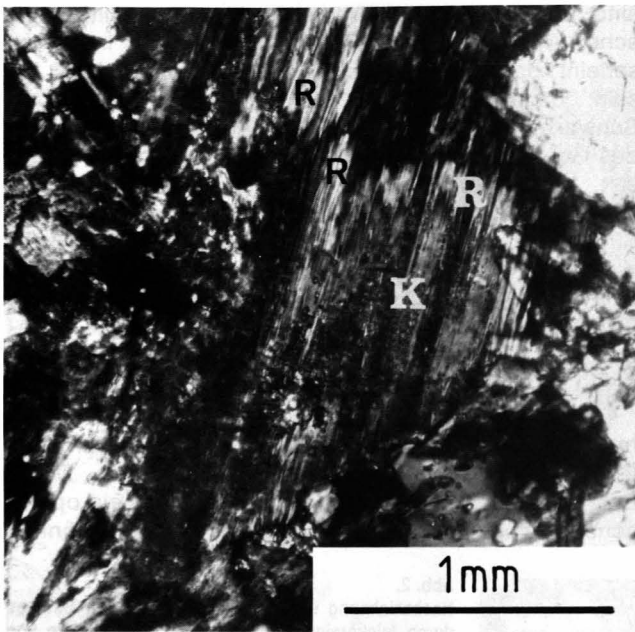


Abb. 4.
Zonar gebauter Amphibol.
K = mit Ti-Mineralien durchsetzter, stark pleochroitischer Kern; R = aktinolithischer Rand von Amphibolen.
Nicols +.

die Plagioklase als Reste primärmagmatischer Plagioklase interpretiert werden, die ein intersertales Gefüge zeigen. Diese Gefügerelikte sprechen für eine subvulkanische Genese der Ausgangsgesteine der Grünschiefer. Die Plagioklase (meist Albit) sind mitunter normalzonar gebaut. In diesem Fall zeigen sie unregelmäßige Kerne aus Oligoklas (optisch bestimmt) und stets Ränder aus Albit mit einfachen Zwillingsleisten nach dem Albitgesetz. In der Regel sind die Plagioklase mit feinkörnigen Klinozoisiten und Zoisiten gefüllt.

Kalifeldspat kommt nur in wenigen Proben vor (Mu 2, Mu 5). Kalifeldspat zeigt in der Regel perthitische Ausbildung. In einzelnen Kristallen sind diese Kristalle teilweise sekundär in Schachbrettalbit umgesetzt (Abb. 3).

In den Amphibolen sind selten Kerne zu erkennen, die dann mit Titanmineralien, wie z.B. Leukoxen durchsetzt sind (Abb. 4). Sie könnten Relikte magmatischer, Ti-reicher Amphibole darstellen. Die Ränder bestehen aus kaum pleochroitischen aktinolithischen Amphibolen metamorpher Herkunft. Im übrigen sind die groben Körner häufig in Chlorit, in einer Probe (Mu 2) in Biotit umgewandelt, wobei die skelettartigen Amphibolkristalle noch durch einheitliche Orientierung zu erkennen sind.

Epidote/Klinozoisite zeigen einen Zonarbau mit Epidotsäumen um Klinozoisitkerne. Zoisite kommen als Füllungsminerale in Plagioklasen vor und haben dann regelmäßig Klinozoisitränder.

Als Akzessorien treten Chlorit, häufig idiomorpher Titanit, Ilmenit, Hämatit, Apatit, braungrün pleochroitischer Biotit und Karbonat auf. In einem Schliff wurde idiomorpher Zirkon beobachtet. Alle diese Minerale können mit Ausnahme von Zirkon und Apatit als metamorph angesehen werden.

Die Paragenese Aktinolith + Chlorit + Oligoklas/Albit + Zoisit/Klinozoisit + Titanit + Magnetit (\pm Hämatit + Biotit) belegt höher temperierte Grünschieferfazies (MOODY et al., 1983).

Tabelle 1.
Chemische Zusammensetzung der massigen Grünschiefer von Althofen bei Murau.
Die Proben sind nach steigenden K_2O -Gehalten geordnet.

	Mu 1	A 56	A 57	Mu 5	Mu 2
Haupt- und Nebenelemente [Gew.-%]					
SiO ₂	47,43	46,48	47,03	47,67	45,54
TiO ₂	1,40	1,37	1,69	1,68	3,33
Al ₂ O ₃	17,13	16,44	16,38	14,90	14,51
Fe ₂ O ₃	3,30	2,09	2,82	2,72	1,64
FeO	4,63	5,96	5,99	6,99	11,17
MnO	0,11	0,12	0,13	0,14	0,18
MgO	5,80	7,21	6,69	7,55	4,99
CaO	12,86	12,13	10,92	10,80	8,88
Na ₂ O	2,98	2,82	3,07	2,63	2,85
K ₂ O	0,17	0,37	0,65	0,91	1,39
P ₂ O ₅	0,27	0,26	0,34	0,29	0,40
H ₂ O ⁺	1,58	2,27	2,28	1,97	2,29
CO ₂	1,88	1,36	1,08	1,18	1,74
Summe	99,54	98,88	99,07	99,43	98,91
Spurenelemente [μg/g]					
Cr	262	419	337	117	31
Ni	93	131	108	112	30
Rb	8	15	19	29	57
Sr	497	569	713	520	293
Y	19	<15	<15	23	24
Zr	127	120	161	137	133
CIPW-Normen					
qu	1,19	—	—	—	—
zr	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
or	1,02	2,26	3,96	5,51	8,49
ab	25,71	24,66	26,80	22,81	24,94
an	33,51	32,15	29,91	26,82	23,47
di	14,16	15,74	13,53	15,05	6,73
hy	11,72	7,72	9,17	15,56	17,38
ol	—	7,70	5,64	3,43	4,89
mt	4,88	3,13	4,22	4,04	2,46
cm	0,06	0,09	0,07	0,03	—
ilm	2,71	2,69	3,31	3,27	6,54
ap	0,66	0,64	0,84	0,71	0,99
cc	4,36	3,20	2,53	2,75	4,09

wird (DOSTAL et al., 1980). Diese Mobilität betrifft v.a. die Alkalien (K, Rb) und Erdalkalien (Ca, Sr).

Bereits die petrographische Untersuchung zeigt mit dem Auftreten H₂O-führender sekundärer Mineralphasen (Amphibol, Klinozoisit, Zoisit, Biotit, Chlorit) und von Karbonat einige chemische Veränderungen. Karbonat tritt als Füllung von Mikrorissen und in Zwickeln zwischen Silikaten auf. Dies belegt, daß Karbonat auf Grund einer CO₂-Zufuhr während der Metamorphose, die von Deformation begleitet wurde, gebildet wurde. Ähnliches könnte auf Grund des Auftretens von Schachbrettalbit postuliert werden, wobei das K jedoch teilweise bis vollständig in Biotit eingebaut worden sein könnte. Auf der anderen Seite sind die Nebengesteine (Karbonate) arm an Alkalien, sodaß kein Grund besteht, eine Zufuhr von Alkalien aus den Nebengesteinen anzunehmen. Die systematische Variation der K₂O-Gehalte, die auch mit einer systematischen Variation des K/Rb-Verhältnisses korreliert (siehe auch Abb. 6), könnte allerdings auch eine primäre Ursache haben. Die Bildung von Schachbrettalbit wird seit VOLL (1969) auf die metasomatische Umsetzung von Kalifeldspat zurückgeführt.

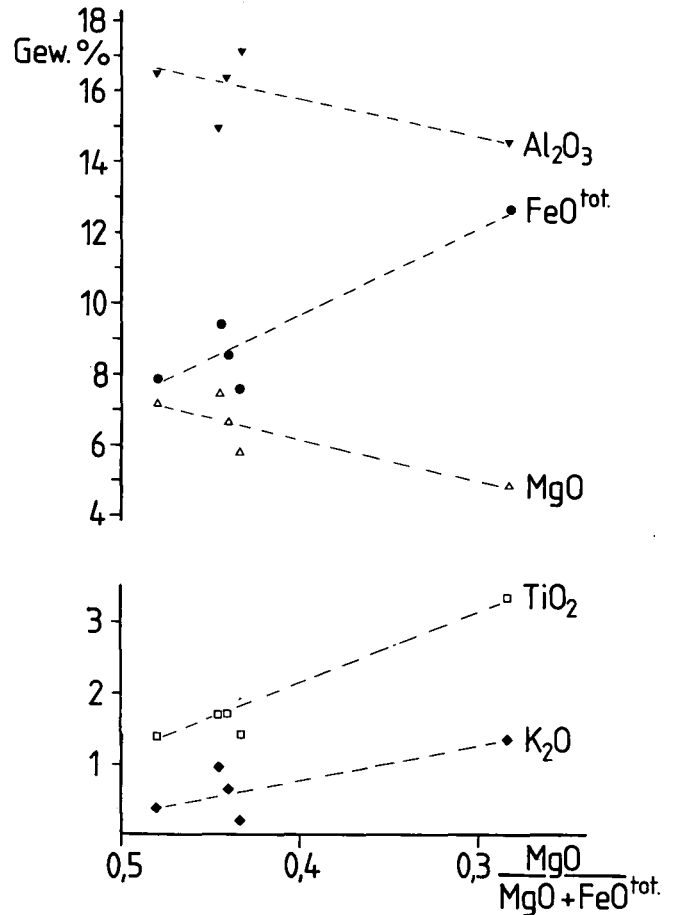
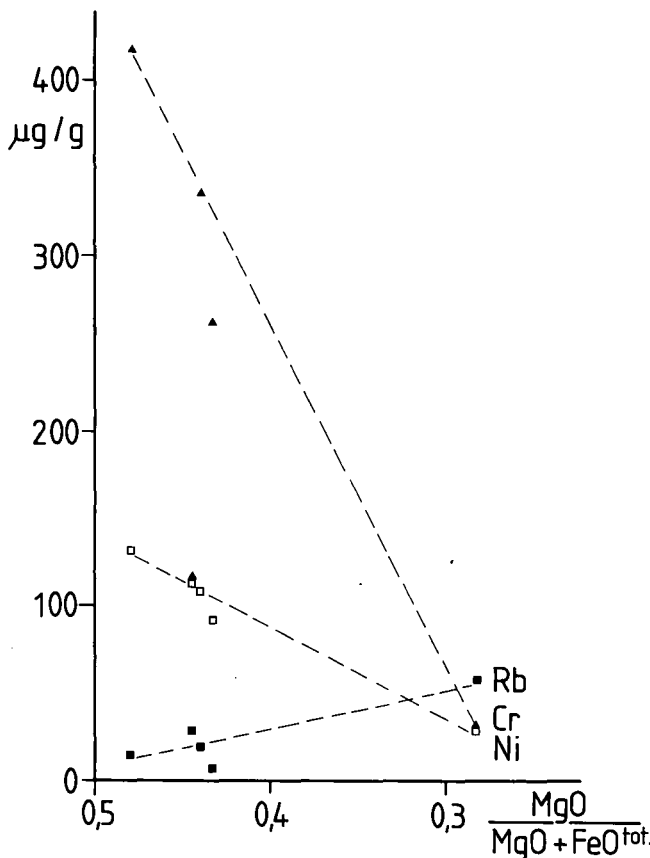
Der Oxidationsgrad, ablesbar am FeO/(FeO+Fe₂O₃)-Verhältnis, ist für vulkanische Gesteine zu hoch. Er läßt sich auf die auch experimentell belegte hohe Sauerstoff fugazität während einer grünschieferfaziellen Metamorphose (MOODY et al., 1983) zurückführen.

Die berechneten CIPW-Normen (Tab. 1) zeigen folgendes Ergebnis: Probe Mu 1 ist quarznormativ, die übrigen sind olivinnormativ. Die normative Paragenese Diopsid + Forsterit + Albit + Enstatit bzw. Diopsid + Al-

bit + Enstatit + Quarz (in Tab. 1 in Hypersthen verrechnet) läßt eine Zuordnung dieser Grünschiefer zu Olivin- bzw. Quarz-Tholeiiten des Basalttetraeders von YODER & TILLEY (1962) als wahrscheinlich erscheinen.

Die analysierten Proben zeigen eine systematische Variation der K₂O-, TiO₂-, Rb- und (Fe₂O₃+FeO)-Gehalte. Nimmt man das MgO/(MgO+FeO_{tot})-Verhältnis als Differentiationsindex, so zeigt die Variation dieses Verhältnisses zwischen 0,48 und 0,28 eine fraktionierte Kristallisation durch Bildung einer Mg-reichen Kumulusphase an. Dieser Differentiationsprozeß führt auch zu einer Anreicherung der lithophilen Elemente K, Rb wie auch von Fe und Ti bei fallendem MgO/(MgO+FeO_{tot})-Verhältnis (Abb. 5a). Ähnliches gilt für die Variation von Spurenelementen: Rb nimmt mit fallendem MgO/(MgO+FeO_{tot})-Verhältnis zu, Cr und Ni nehmen ab (Abb. 5b). Dieser Differentiationsprozeß kann in der Magmenquelle, während des Aufstieges, oder auch in situ bei der Platznahme der Magmen erfolgt sein. Lagergänge sind häufig infolge langsamer Abkühlung in sich differenziert (HUGHES, 1982).

Diese Elementvariation wird auch in Spidergrammen deutlich (Abb. 6). Die Chemismen wurden auf N-Typ-MOR-Basalte normalisiert (Normalisierungswerte nach PEARCE, 1982). Die Muster zeigen eine Anreicherung von Sr, K, Rb, Zr gegenüber N-MOR-Basalten sowie eine Abreicherung des Y. Die Cr-Verhältnisse schwanken sehr stark und verhalten sich gegenläufig zu den lithophilen Elementen, was auf Fraktionierungsprozesse einer Cr-reichen Mineralphase (Cr-Spinell) bei zunehmender Differentiation zurückgeführt werden kann.



a ▲

b ►

Abb. 5. Hauptelement- (a) und Spurenelementvariation (b) gegen das MgO/(MgO+FeO_{tot})-Verhältnis.

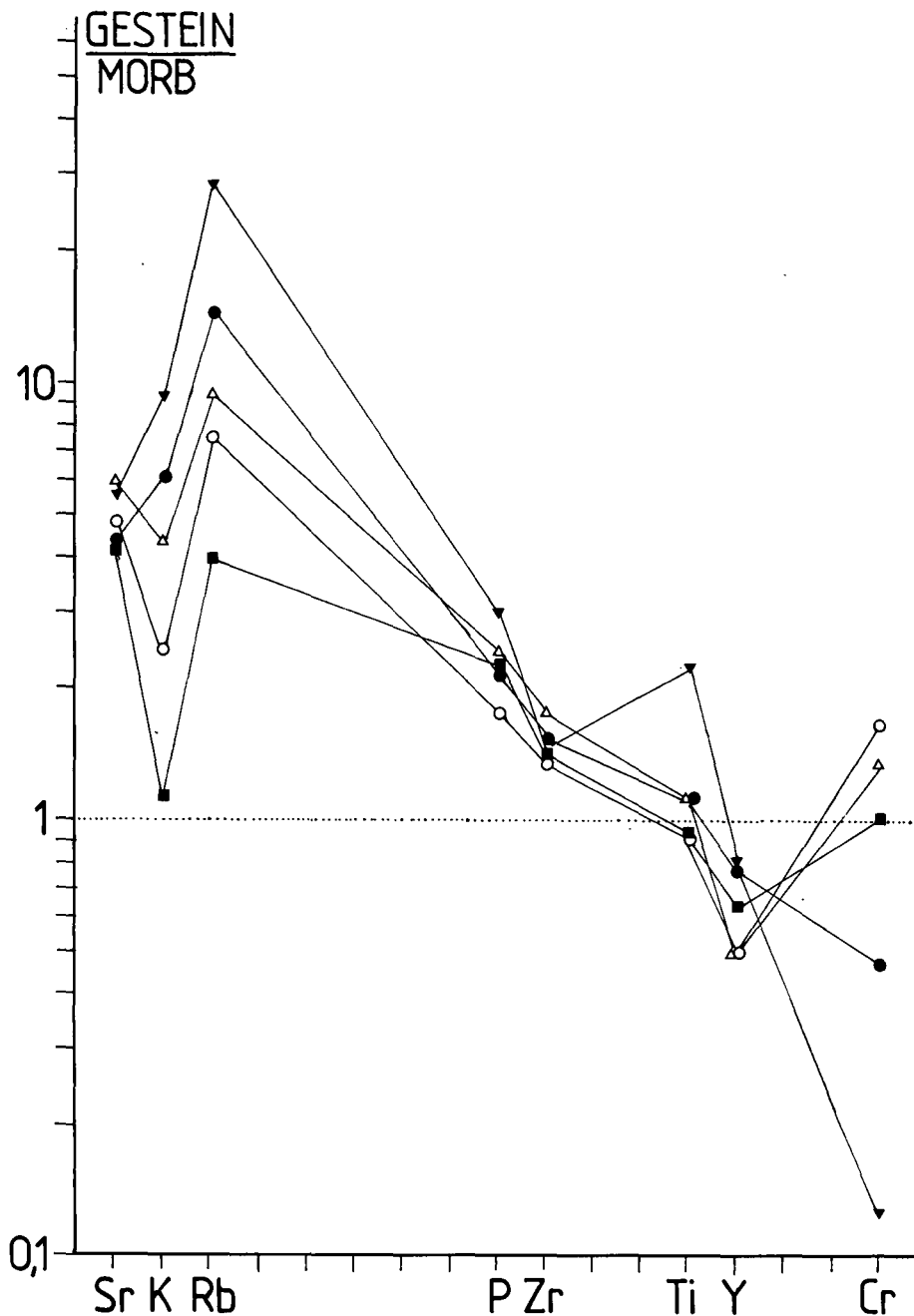


Abb. 6.
Spidergramm.
Normierungswerte für N-MOR-Basalte von
PEARCE (1982).

Die Anreicherung von Ti, Zr gegenüber Y und der LIL-Elemente, v.a. von K und Rb, deutet auf einen Übergang zwischen tholeiitischen zu alkalischen Basalten als mögliche Ausgangsgesteine hin. Die oben beschriebene Anreicherung von K, Rb bei gleichzeitiger FeO_{tot} -Anreicherung deutet einen tholeiitischen Differentiationstrend in der Magmenkammer oder bei der Platznahme der Magmen an. Dieser Trend wird auch im AFM-Diagramm deutlich (Abb. 7). Unter den als immobil geltenden Spuren- und Nebenelementen wird u.a. das zunehmende $\text{Zr}/\text{P}_2\text{O}_5$ -Verhältnis bei steigenden Ti-Gehalten als Alkalinitätsindex verwendet (FLOYD & WINCHESTER, 1975). Die Althofener Grünschiefer zeigen in diesem Diagramm einen ähnlichen Differentiationstrend von tholeiitisch zu alkalisch hin (Abb. 8), wie er auch aus dem AFM-Diagramm ablesbar ist.

Als geotektonisches Environment bieten sich für alkalische/tholeiitische Gesteine verschiedene Möglichkeiten an. Die Y-Abreicherung gegenüber Ti, Zr klassifiziert die Ausgangsgesteine der Grünschiefer als Intra-

plattenbasalte (siehe Abb. 9, Diagramm nach PEARCE & CANN, 1973). Es ist schwierig, mit Hilfe der untersuchten immobil Neben- und Spurenelemente kontinentale und ozeanische tholeiitische Basalte voneinander zu unterscheiden (siehe auch MULLEN, 1983).

5. Diskussion

Nimmt man die oben diskutierten geochemischen Charakteristika der Grünschiefer von Althofen, so dürfte es sich dabei um tholeiitische Ausgangsgesteine handeln, die in Richtung auf schwach alkalische Gesteine differenziert haben. Als geotektonische Position kommen am ehestens Intraplattenbasalte in Betracht.

Bevor die geodynamische Signifikanz der metabasaltischen Gesteine von Althofen weiter diskutiert werden soll, muß u. a. das mögliche Bildungsalter dieser Gesteine erfaßt werden. Diese Gesteine stecken innerhalb

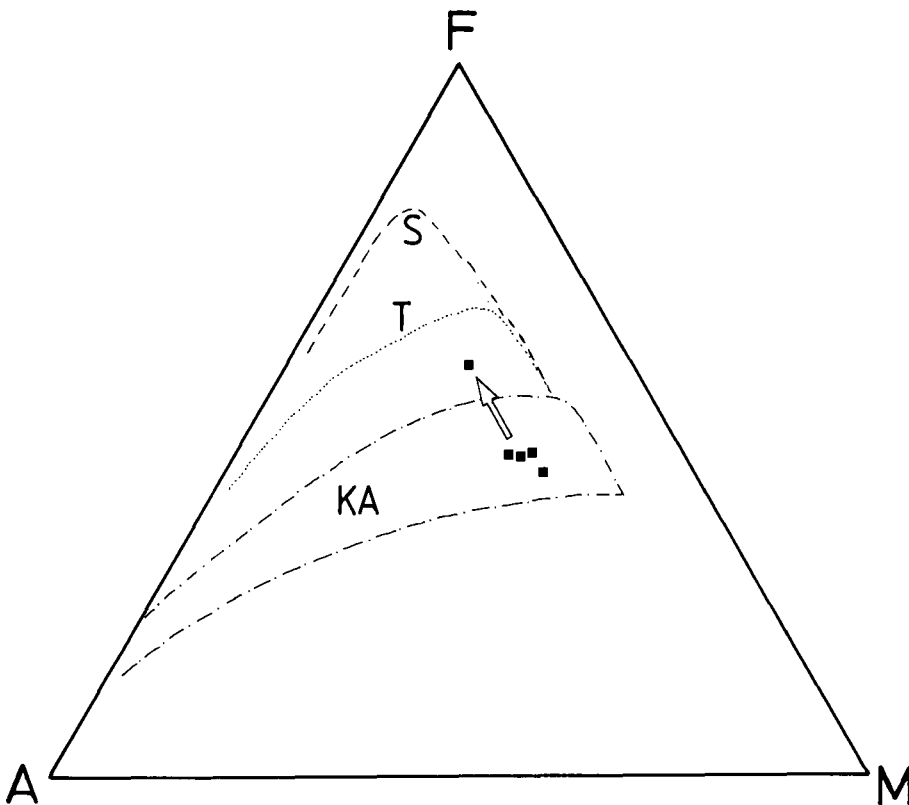


Abb. 7.
AFM-Diagramm.
Der Pfeil zeigt den angenommenen Differentiationstrend. Zum Vergleich sind die Differentiationstrends der Skaergardinintrusion (S), von Thingmuli (T) und solche von kalkalkalischen Bögen (KA) eingetragen (nach HUGHES, 1982).

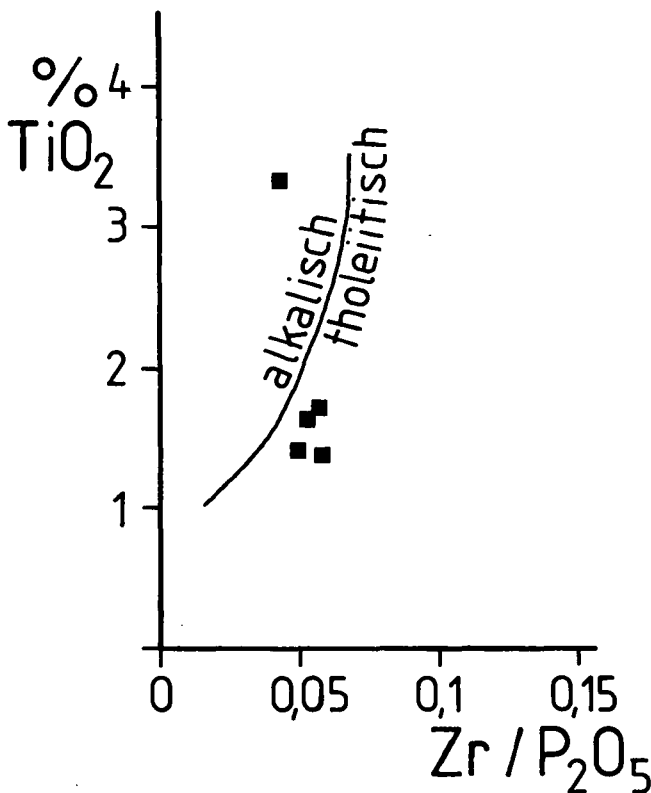


Abb. 8.
Zr/P₂O₅-Ti-Diagramm zur Unterscheidung von tholeiitischen und alkalischen Basalten (FLOYD & WINCHESTER, 1975).

von Kalkschiefern, die mitunter mit Schwarzschiefern verknüpft sind, sowie innerhalb von massiven Karbonaten vom Typ Murauer Kalkmarmor, die das Hangende der Kalkschiefer bilden. Dolomite scheinen hier im Übergangsbereich zu fehlen. Direkte stratigraphische Belege für das Alter dieser Gesteine sind nur durch

großräumige Vergleiche zu gewinnen. Nach der Zusammenstellung der biostratigraphischen Daten (v.a. Conodonten) der paläozoischen Schichtfolgen der Gurktaler Decken von NEUBAUER & PISTOTNIK (1984) kommt der Obergrenze der Karbonatschiefer/Schwarzschiefer ein obersilurisch oder unterdevonisches Alter zu (maximal oberes Siegen), während die Basis der massiven Karbonate (an anderen Lokalitäten häufig Dolomite) in das höhere Unterdevon (etwa in das basale Ems) eingestuft wurde. Damit sollten – vorausgesetzt, daß die großräumige Korrelation zutrifft – die metabasaltischen Ganggesteine von Althofen ein Alter haben, das jünger ist als die Basis der massiven Karbonate (basales Ems). Diese Ganggesteine haben dieselbe zweistufige Metamorphose mitgemacht wie die Nebengesteine. Die erste Metamorphose wird dem variszischen Zyklus (Karbon?) zugeschrieben (v. GOSEN, 1982; BECKER et al., 1987), wofür zur Zeit allerdings noch geochronologische Belege fehlen. Bei Zutreffen dieser Voraussetzungen kann diesen metabasaltischen Ganggesteinen ein mittel- bis oberdevonisches, eventuell ein unterkarbonisches Alter zugesprochen werden.

In anderen schwachmetamorphen ostalpinen Paläozoikumsarealen gibt es vergleichbare Lagergänge innerhalb devonischer Schichtfolgen (Ems bis Mitteldevon) der Rannachfazies des Grazer Paläozoikums (GOLLNER & ZIER, 1985) und auch innerhalb der westlichen Grauwackenzone (HEINISCH et al., 1987). Biostratigraphische Daten belegen devonischen basaltischen Vulkanismus (hauptsächlich Pyroklastika) auch innerhalb der Stolzalpendecke des Gurktaler Deckensystems (NEUBAUER, 1980b). Allerdings fehlen bisher geochemische Untersuchungen an letzteren.

Die Grungesteine von Althofen deuten mit ihren Charakteristika auf eine basaltische Suite, die zwischen tholeiitischen und alkalischen Gesteinen steht. Solche Übergangsserien sind v.a. charakteristisch für fortgeschrittene Riftstadien. Dies fügt sich gut in das allge-

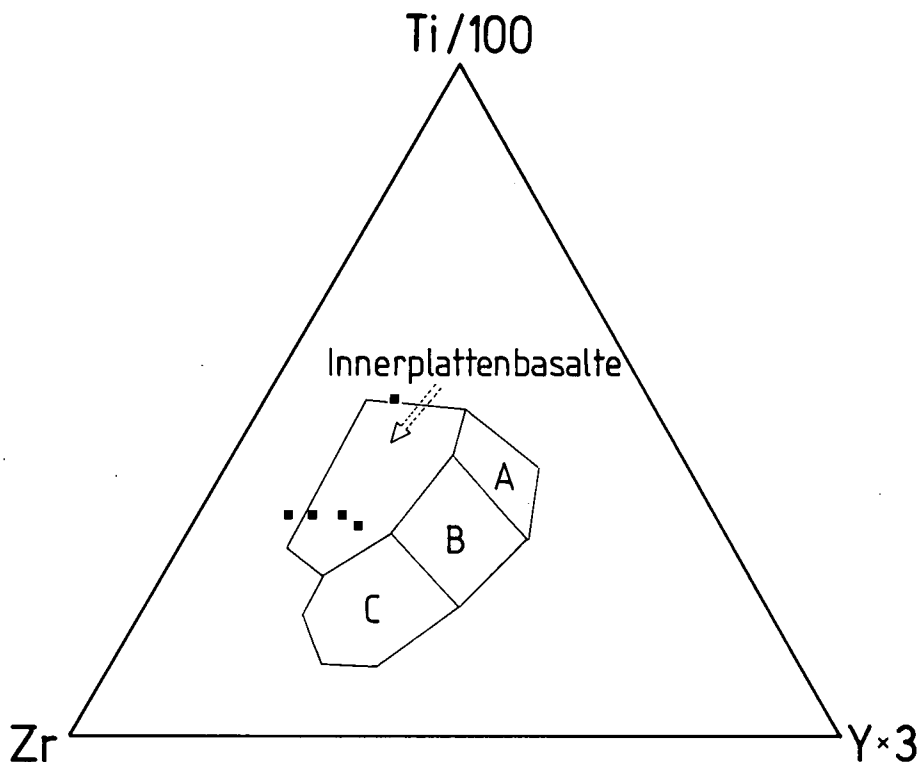


Abb. 9.
Zr-Y-Ti-Diagramm nach PEARCE & CANN (1973).
A = Kaliarme Tholeiite von magmatischen Bögen; B = kalkalkalische Basalte und Basalte von mittelozeanischen Rücken; C = kalkalkalische Basalte; D = Intraplattenbasalte.

meine Bild der devonen Entwicklung der oberostalpinen Paläozoika. In vulkanischen Gesteinen dieses Abschnittes scheinen alkalische Basalte sowie Übergangsbasalte zwischen alkalischen und tholeiitischen Basalten zu dominieren (HEINISCH et al., 1988; LOESCHKE, 1988b; ; SCHLAMBERGER, 1989). Generell scheint es sich um Intraplattenbasalte zu handeln (siehe auch devonische Gesteine der Untersuchung von KOLMER, 1978). Ähnliche alkalische Intraplattenbasalte sind auch charakteristisch für die Glimmerschiefer-Marmor-Komplexe des mittelostalpinen Kristallins (FRISCH et al., 1987), die auf Grund lithostratigraphischer Vergleiche mit dem fossilführenden Paläozoikum in das Silur und Devon eingestuft werden.

Damit scheint sich für das ostalpine Devon auf Grund der Untersuchungen an Vulkaniten ein fortgeschrittener Riftprozeß als Modellvorstellung abzuzeichnen, wenn man versucht, die sedimentäre Entwicklung in dieses Geschehen (Subsidenzentwicklung, klastischer Input) miteinzubeziehen (FRITZ & NEUBAUER, 1989; SCHLAMBERGER, 1989). Ganggesteine mit tholeiitischem Chemismus werden häufig in kontinentalen Bereichen im Zusammenhang mit Riftprozessen gefunden (HUGHES, 1982). Die Althofener Grungesteine könnten damit als Indikatoren eines solchen Prozeßes gesehen werden.

Dank

Zwei der Proben wurden anlässlich einer gemeinsamen Exkursion mit W. FRISCH und J. LOESCHKE (beide Tübingen) aufgesammelt. Beiden danke ich für anregende Diskussionen über die Bedeutung von chemischen Untersuchungen zur Klärung der Geotektonik des ostalpinen Grundgebirges. Ich danke auch den Herren H. FRIEDRICHSEN (jetzt Berlin) und M. SATIR (jetzt München) für die Hilfestellung bei den geochemischen Analysen.

Literatur

ANGEL, F.: Über Diabasformen im Bereich des Murauer Paläozoikums. – Verh. Geol. Bundesanst., 1955, 175–180, Wien 1955.

BECKER, L.P., FRANK, W., HÖCK, V., KLEINSCHMIDT, G., NEUBAUER, F., SASSI, F.P. & SCHRAMM, J.M.: Outlines of the pre-Alpine metamorphic events in the Austrian Alps. – In: FLÜGEL, H.W., SASSI, F.P. & GRECU, P. (Eds.): Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine-Mediterranean Mountain Belts – Mineralia slovacica – Monography, 69–106, Bratislava (Alfa) 1987.

CAS, R.A.F. & WRIGHT, J.V.: Volcanic successions modern and ancient. – 528 S., London (Allen & Unwin) 1987.

DOSTAL, J., STRONG, D.F. & JAMIESON, R.A.: Trace element mobility in the mylonite zone within the ophiolite aureole, St. Anthony complex, Newfoundland. – Earth Planet. Sci. Lett., 49, 188–192, Amsterdam 1980.

FLOYD, P.A. & WINCHESTER, J.A.: Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. – Earth Planet. Sci. Lett., 27, 211–218, Amsterdam 1975.

FRISCH, W., NEUBAUER, F., BRÖCKER, M., BRÜCKMANN, W. & HAISS, N.: Interpretation of geochemical data from the Caledonian basement within the Austroalpine basement complex. – In: FLÜGEL, H.W., SASSI, F.P. & GRECU, P. (Eds.): Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine-Mediterranean mountain belts – Mineralia Slovaca – Monography, 209–226, Bratislava (Alfa) 1987.

FRITZ, H. & NEUBAUER, F.: Geodynamic aspects of the Silurian/Early Devonian sedimentation of the Paleozoic of Graz. – Schweiz. Miner. Petr. Mitt., 68/3, 359–367, Zürich 1989.

GOLLNER, J. & ZIER, Chr.: Zur Geologie des Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark). – Jb. Geol. Bundesanst., 128, 43–73, Wien 1985.

GIESE, U.: Lower Paleozoic volcanic evolution at the northwestern border of the Gurktal nappe, Upper Austroalpine, Eastern Alps. – Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 68, 381–396, Zürich 1988.

GOSEN, W. v.: Geologie und Tektonik am Nordostrand der Gurktaler Decke (Steiermark/Kärnten, Österreich). – Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, 53, 33–149, Hamburg 1982.

- HEINISCH, H., HERTOGEN, J. & SCHLAEGEL, P.: Ausgewählte Spurenelementdaten von metamorphen basischen Magmatiten aus der Nördlichen Grauwackenzone (Österreich). – Jb. Geol. B.-A., **131**, 267–278, Wien 1988.
- 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**, 163–173, Wien 1987.
- HERMANN, A.G.: Praktikum der Gesteinsanalyse. – 204 S., Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1975.
- HUGHES, Ch.J.: Igneous Petrology. – 551 S., Amsterdam – Oxford – New York (Elsevier) 1982.
- KOLMER, H.: Die Verteilung von Ti, Sr, Y und Zr in spilittischen Gesteinen der Steiermark. – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark, **108**, 31–43, Graz 1978.
- LOESCHKE, J.: Spurenelement-Daten von paläozoischen Spiliten aus den Ostalpen und ihre Bedeutung für geotektonische Interpretationen. – Geol. Rdsch., **64**, 62–74, Stuttgart 1975.
- LOESCHKE, J.: Metavulkanite aus der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe (Kärnten, Österreich) und ihre plattentektonische Bedeutung. – Jb. Geol. B.-A., **131**, 301–314, Wien 1988a.
- LOESCHKE, J.: Zur Geochemie basischer Vulkanite aus dem Grazer Paläozoikum. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, **118**, 95–105, Graz 1988b.
- MOODY, J.B., MEYER, D. & JENKINS, J.E.: Experimental characterization of the greenschist/amphibolite boundary in mafic systems. – Amer. J. Sci., **283**, 48–92, New Haven 1983.
- MOTTL, M.J.: Metabasalts, axial hot springs, and the structure of hydrothermal systems at mid-ocean ridges. – Geol. Soc. Amer. Bull., **94**, 161–180, Boulder 1983.
- MULLEN, E.D.: MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. – Earth Planet. Sci. Lett., **62**, 53–62, Amsterdam 1983.
- NEUBAUER, F.R.: Die Geologie des Murauer Raumes – Forschungsstand und Probleme. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, **41**, 67–79, Graz 1980a.
- NEUBAUER, F.R.: Exkursion Murauer Paläozoikum. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, **41**, 115–128, Graz 1980b.
- NEUBAUER, F.R. & PISTOTNIK, J.: Das Altpaläozoikum und Unterkarbon der Gurktaler Decke und ihre paläogeographischen Beziehungen. – Geol. Rdsch., **73**, 149–174, Stuttgart 1984.
- NIEDERL, R.: Die Geologie des Gebietes östlich von Oberwölz-Stadt (Murauer Paläozoikum, Steiermark). – Unveröff. Diss. Univ. Graz, 149 S., Graz 1980.
- PEARCE, J.A.: Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. – In: THORPE, R.S. (Ed.): Andesites, 525–548, Chichester (John Wiley and Sons) 1982.
- PEARCE, J.A.: A „user's guide“ to basalt discrimination diagrams. – Unveröff. Manuskript, 37 S., Milton Keynes (The Open University) 1983.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R.: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. – Earth Planet. Sci. Lett., **19**, 290–300, Amsterdam 1973.
- PEARCE, J. & NORRY, M.: Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. – Contrib. Mineral. Petrol., **69**, 33–47, Heidelberg 1979.
- SCHLAMBERGER, J.: The geotectonic setting of the Sausal Paleozoic (Eastern Alps). – Schweiz. Miner. Petrog. Mitt., **68**, 369–379, Basel 1989.
- TURNER, A.: Diabasvorkommen im Gebiet des Pleschaitz. – Verh. Geol. Bundesanst., **1955**, 169–174, Wien 1955.
- TURNER, A.: Die Geologie des Pleschaitz bei Murau. – Mitt. Mus. Bergbau Geol. Technik Joanneum, **20**, 1–27, Graz 1959.
- VOLL, G.: Klastische Mineralien aus den Sedimentserien der Schottischen Highlands und ihr Schicksal bei aufsteigender Regional- und Kontaktmetamorphose. – Habilitationsschrift Technische Universität Berlin, 369 S., Berlin 1969.
- YODER, H.S. & TILLEY, C.E.: Origin of basaltic magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems. – J. Petrol., **3**, 342–532, 1962.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 5. Jänner 1989.