

## Zur Geologie und Geochemie von Metavulkaniten der Murauer Decke am Nordhang des Kreuzecks (Teufenbach-Scheifling, Steiermark)

Von THOMAS ERTEL & JÖRG LOESCHKE\*)

Mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen

*Steiermark  
Murauer Decke  
Metavulkanite  
Stratigraphie  
Petrographie  
Geochemie*

*Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blatt 160*

### Inhalt

Zusammenfassung .....	647
Abstract .....	647
1. Einleitung .....	649
2. Stratigraphie .....	651
3. Petrographie .....	651
3.1. Teufenbach-Serie .....	651
3.1.1. Grünsteine (Prasinite) .....	651
3.1.2. Albitfelse .....	651
3.2. Steinberg-Serie .....	652
3.2.1. Metadiabase .....	652
3.2.2. Grünschiefer .....	652
3.2.3. Phyllite .....	652
4. Metamorphose und Deformation .....	653
4.1. Glimmerschieferserie .....	653
4.2. Neumarkter Serie .....	653
5. Geochemie .....	653
6. Vergleiche mit der Phyllitgruppe der südlichen Saualpe .....	655
Dank .....	656
Literatur .....	656

### Zusammenfassung

Die untere Gurktaler Decke (Murauer Decke) südlich von Teufenbach/Scheifling (Steiermark) besteht aus verschiedenen Metavulkaniten (Grünsteine und Albit-Felse der Teufenbach-Serie, Metadiabase und Grünschiefer der Steinberg-Serie). Diese Metavulkanite liegen unter den devonischen Karbonaten des Adelsberges und gehören somit wahrscheinlich in das Ober-Ordoviz/Silur. Geochemische Analysen zeigen, daß es sich hierbei um metamorph überprägte Alkali-Basalte und deren intermediäre Differentiate (Trachyandesite, Trachyte) handelt, die im Intraplatten-Bereich (passiver Kontinentrand, kontinentale Grabenbrüche) gefördert worden sind. Sie haben Ähnlichkeiten mit Metavulkaniten der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe und zeigen Dehnungsprozesse während des Ober-Ordoviz/Silurs in den Ostalpen an.

### On the Geology and Geochemistry of Metavolcanic Rocks of the Murau Nappe (Kreuzeck, Teufenbach-Scheifling/Steiermark, Austria)

#### Abstract

South of Teufenbach/Scheifling (Styria) the lower Gurktal Nappe (Murau Nappe) consists of various metavolcanic rock types (greenstones and albitites of the Teufenbach Series, metadiabases and greenschists of the Steinberg Series). These metavolcanic rocks lie below the Devonian carbonates of the Adelsberg and are probably of upper Ordovician/Silurian age. Geochemical analyses reveal that they are metamorphosed alkali-basalts and their differentiation products (trachyandesites, trachytes) which erupted in an intraplate environment (passive continental margin, continental rifts). They are similar to metavolcanic rocks of the Phyllite Group of the southern Saualpe and indicate rifting processes in the Eastern Alps during upper Ordovician/Silurian time.

\*) Anschrift der Verfasser: Dipl.-Geol. THOMAS ERTEL, Univ.-Prof. Dr. JÖRG LOESCHKE, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Tübingen, Sigwartstraße 10, D-74 Tübingen.



# 1. Einleitung

Im Rahmen der Neu-Untersuchungen von paläozoischen Metavulkaniten der Ostalpen (GIESE, 1988; LOESCHKE, 1988; LOESCHKE, 1989a,b; SCHNEPF, 1989; LOESCHKE et al., 1990; KERNER & LOESCHKE, 1991) wurden Gesteine schwachmetamorpher Bereiche der Gurktaler Decke und der Norischen Decke bearbeitet, deren stratigraphische Stellung entweder bekannt war oder einigermaßen sicher abgeschätzt werden konnte. Es stellte sich dabei heraus, daß mit Ausnahme des Blasseneck-Porphyrroids, der eine rhyolithische bis dazitische Zusammensetzung besitzt und wahrscheinlich auf ein post-kollisionales anatektisches Ereignis zurückzuführen ist, die meisten anderen Metavulkanite eine alkali-basaltische Zusammensetzung haben. Die Förderung dieser Alkali-Basalte läßt auf ein vom Ober-Ordovizium bis zum Devon reichendes Dehnungsregime in den Ostalpen schließen, das mit der Ausbildung von absinkenden Trögen an passiven Kontinenträndern oder in intrakontinentalen Rift-Bereichen einhergeht.

Die in dieser Arbeit vorgelegten Untersuchungen in der Gurktaler Decke wurden durchgeführt, da dort über Glimmerschiefern, Granatamphiboliten und Pegmatiten des mittelostalpinen Kristallins ein relativ großer Bereich bisher geochemisch unbearbeiteter basischer und intermediärer Metavulkanite auftritt, deren Charakterisierung das bisher erarbeitete Bild ergänzen sollte.

Das Untersuchungsgebiet liegt südlich des Murtales zwischen Teufenbach und Scheifling in Steiermark (Abb. 1 und 2). Bisherige Arbeiten erfaßten die Petrographie und die Lagerungsverhältnisse der Gesteine sowie die stratigraphische Einstufung der dort vorkommenden Karbonate des Adelsberges (THURNER, 1970; THURNER & VAN HUSEN, 1978; NEUBAUER, 1979; THURNER et al., 1980; von GOSEN, 1982; von GOSEN et al., 1985). Diese Untersuchungen sollen hiermit durch geochemische Daten ergänzt werden. Die Gesteine gehören zum tieferen und stärker metamorphen Teil der Gurktaler Decke (= Murauer Decke) und zur Neumarkter Serie im Sinne von GOSEN's (1982).

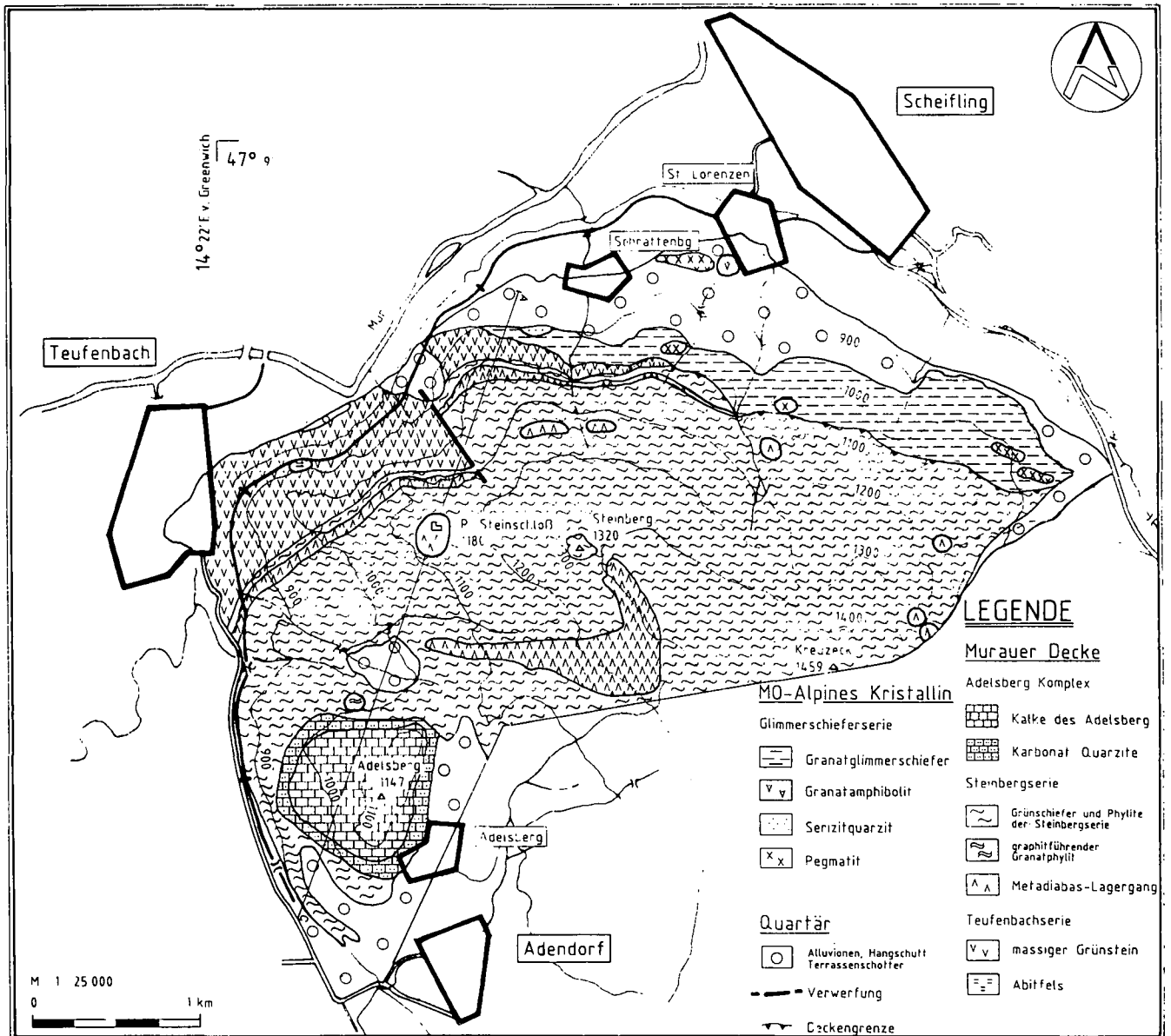


Abb. 2. Geologische Karte des Gebietes zwischen Teufenbach und Scheifling (Steiermark) nach ERTEL (1988).

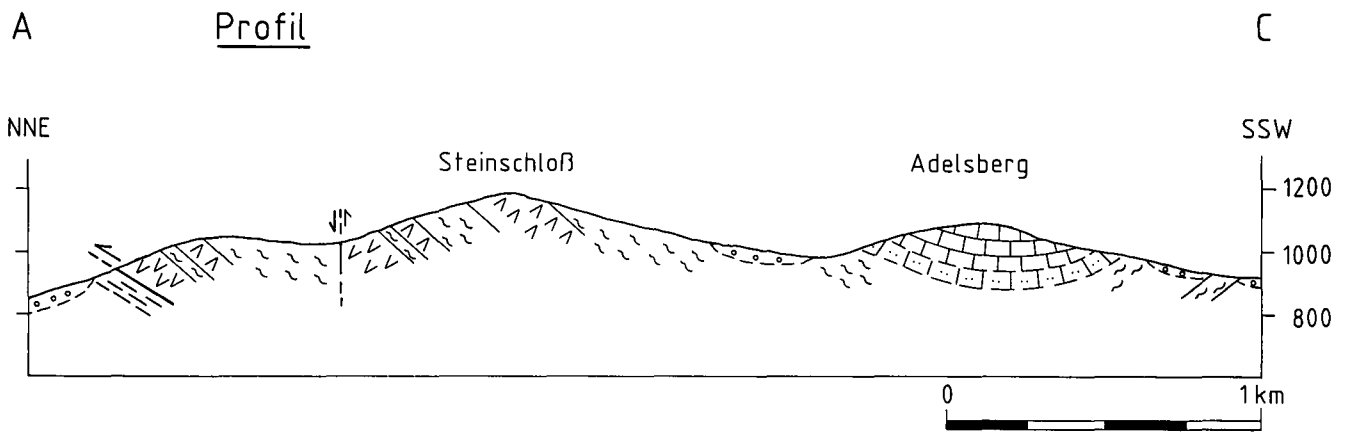


Abb. 3. Geologisches Profil durch die Murauer Decke südlich des Murtales bei Teufenbach/Scheifling (Steiermark) nach ERTEL (1988).

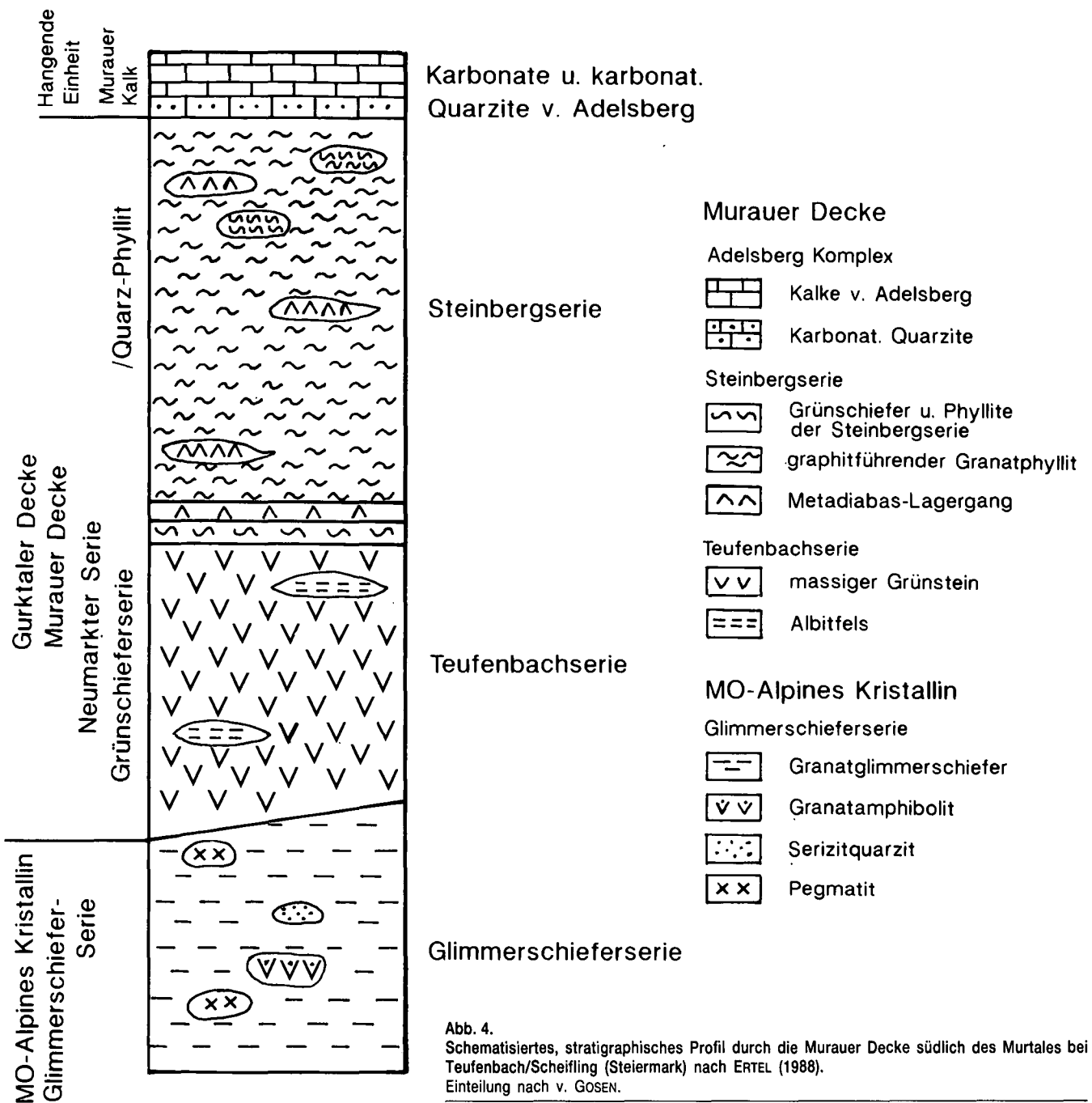


Abb. 4. Schematisiertes, stratigraphisches Profil durch die Murauer Decke südlich des Murtales bei Teufenbach/Scheifling (Steiermark) nach ERTEL (1988). Einteilung nach v. GOSEN.

## 2. Stratigraphie

Abb. 2 zeigt die geologische Karte des Untersuchungsgebietes, Abb. 3 das dazugehörige tektonische Profil und Abb. 4 ein versuchsweise aufgestelltes stratigraphisches Profil. Wie aus diesen Abbildungen zu ersehen ist, können die Gesteine nördlich des Kreuzecks und im Bereich Steinschloß in zwei Serien untergliedert werden. Eine untere Serie, die aus massigen Grünsteinen (Prasiniten) und untergeordnet aus Albit-Felsen besteht, wird als Teufenbach-Serie bezeichnet, und eine obere Serie, die aus Phylliten, Meta-Diabas-Lagergängen und Grünschiefern besteht, wird als Steinberg-Serie bezeichnet. Angaben über die stratigraphischen Mächtigkeiten dieser Serien können wegen einer starken isoklinalen Verfaltung nicht gemacht werden. Beide Serien liegen in einer Mulde unter den unterdevonischen Karbonaten des Adelsberges. Der Kontakt zwischen den Karbonaten des Adelsberges und den Grünschiefern und Phylliten der Steinberg-Serie wird von uns als stratigraphisch angesehen, weil es für eine tektonische Grenze im Sinne einer weitreichenden Überschiebung an dieser Stelle keine Anhaltspunkte gibt. Die Metavulkanite der Teufenbach- und Steinberg-Serie werden demnach als prädevonisch angesehen und gehören somit wahrscheinlich in den Zeitbereich Ordoviz/Silur. Unter der Teufenbach- bzw. der Steinberg-Serie liegt das mittelostalpine Kristallin. Die Basis-Überschiebung der Murauer Decke schneidet dabei die beiden genannten Serien schräg ab (Abb. 2). Eine Übergangs-Serie, die zwischen dem mittelostalpinen Kristallin und den darüberliegenden Grünsteinen der Teufenbach-Serie bzw. den Grünschiefern und Phylliten der Steinberg-Serie liegen soll (von GOSEN, 1982), wurde von uns nicht beobachtet und als solche auch nicht kartiert.

## 3. Petrographie

Da die mineralogische Zusammensetzung der Metavulkanite dieses Gebietes bisher recht kurz abgehandelt wurde (TURNER et al., 1980), erfolgt hier eine etwas eingehendere Beschreibung.

### 3.1. Teufenbach-Serie

Die Teufenbach-Serie besteht ganz überwiegend aus massigen Grünsteinen. Hinzu kommen an einigen Stellen bis zu 40 cm dicke, helle Bänder von Albitfelsen. Gute Aufschlüsse liegen an der Bahnlinie nach Scheifling und an der Straße südlich Teufenbach.

#### 3.1.1 Grünsteine (Prasinite)

Die Grünsteine sind massig, selten leicht geschiefert. Ihre Farbe reicht von dunkelgrün bis dunkelgrau. In den Grünsteinen sind mesoskopisch meist keine Minerale erkennbar. Lediglich direkt über der Basis-Überschiebung der Murauer Decke sind in geschieferten Varietäten Hornblendestengel und Biotitblättchen mit freiem Auge sichtbar.

##### Mineralbestand

Hauptgemengteile: Albit, barroisitische Hornblende, Chlorit, Biotit, Epidot.

Nebengemengteile: Calcit, aktinolithische Hornblende, Serizit in Plagioklas - Einsprenglingen.

Akzessorien: Apatit, Zirkon, Titanit, Leukoxen, Erz.

Das nematoblastische Gefüge der massigen Grünsteine wird durch eine schwache Hauptschieferung leicht geregelt. Gelegentlich ist eine zweite Krenulations-Schieferung zu erkennen, die die erste Schieferung im rechten Winkel schneidet.

Albit liegt in Form kleiner unregelmäßiger Körner vor. Bisweilen treten auch bis zu 0,7 mm große Reste von Albit-Einsprenglingen in den feinkörnigen Gesteinen auf. Die Albite in der Grundmasse sind generell frisch. Die Einsprenglinge sind schwach serizitisiert. Verzwillingung kommt vor. Meist sind die Plagioklase jedoch unverzwilligt.

Barroisitische Hornblenden erreichen Größen von 0,8 mm. Aktinolithische Hornblenden durchspießen in Form feiner Nadelchen die Albite. Es treten demnach 2 Hornblende-Generationen auf. Insbesondere die intensiv blau gefärbten barroisitischen Hornblenden zeigen oftmals randliche Umwandlungen zu Biotit und Chlorit, außerdem führen sie Epidot-Einschlüsse. Gut ausgeprägt sind diese Umwandlungen an den Knickstellen der geknickten Minerale. Daher sind die Umwandlungsminerale syndeformativ gesproßt.

Epidot liegt meist in Form xenomorpher Körner vor. Der inverse Zonarbau mit Fe-reichem Kern und Fe-ärmer Randzone könnte nach RAITH (1976) als Zeichen progressiven Metamorphoseverlaufes während der Epidotbildung gedeutet werden. Die Vergesellschaftung von Epidot mit Leukoxen und Titanit-Körnchen legt den Schluß nahe, daß sich Epidot auf Kosten mafischer Primär-Minerale gebildet hat, deren Ti-Gehalt nicht in Epidot eingebaut werden konnte.

Mineralbestand und chemische Zusammensetzung (Kap. 5) weisen auf vulkanogenes Ausgangsmaterial hin. Da jedoch bis auf wenige Plagioklas-Einsprenglinge sämtliche primär-magmatischen Gefüge durch die Metamorphose ausgelöscht wurden, kann nicht geklärt werden, ob es sich um ehemalige Laven oder Tuffe handelt. Hinweise auf epiklastische Beimengungen fehlen.

#### 3.1.2. Albitfelse

Die Albitfelse sind helle bis graue, dichte, plattig spaltende Gesteine, die leicht grünlich glänzende Schieferungsflächen aufweisen. Im Querbruch erkennt man eine feine Lamination, die durch eine lagige Anordnung von Erzkörnchen und Feldspat-Einsprenglingen hervorgerufen wird.

##### Mineralbestand

Hauptgemengteile: Albit, Erz.

Nebengemengteile: Biotit, Serizit, Chlorit, Calcit, Quarz, Epidot. Akzessorien: Titanit, Zirkon, Apatit.

Das Gefüge ist granoblastisch, enthält aber Lagen von Albit-Einsprenglingen und Erzkörnchen. Albit, aus dem dieses Gestein zu etwa 75 % besteht, kommt in Form von maximal 0,1 mm großen Körnchen in der Grundmasse und bis zu 0,8 mm großen Einsprenglingen vor. Die meist unverzwilligten Albite der Grundmasse sind stets klar. Im Gegensatz dazu zeichnen Viellingsstreifung und Einschlüsse von Kalzit und Serizit die Einsprenglinge aus, die metastabile, primär-magmatische Relikte darstellen. Karbonatbutzen in den Albit-Einsprenglingen repräsentieren die bei der Albitisierung frei gewordene An-Komponente der Plagiokla-

se. Das mikroskopische Erscheinungsbild und die chemische Zusammensetzung (Kap. 5) lassen darauf schließen, daß es sich hierbei um Meta-Trachyte bis Meta-Trachyandesite handelt.

### 3.2. Steinberg-Serie

Die Steinberg-Serie besteht im Unterschied zur Teufenbach-Serie überwiegend aus Phylliten und Grünschiefern, in die einige Metadiabas-Lagergänge eingeschaltet sind.

#### 3.2.1. Metadiabase

Die Metadiabase bilden 1 bis 10er m mächtige Lagergänge, die entweder massig oder schiefrig ausgebildet sind. Diese beiden Variationen unterscheiden sich petrographisch und geochemisch deutlich voneinander. Die Bezeichnung „Metadiabas“ wird der international üblichen Bezeichnung „Metadolerit“ hier vorgezogen, weil sie ein in Mittel-Europa durchaus gängiger Begriff ist.

Die massigen Metadiabase sind kräftig grün gefärbt und zeigen hellgrüne bis gelbliche Epidotbutzen. Nur dm-dicke Randpartien dieser Lagergänge sind geschiefert. Besonders in den liegenden Anteilen lassen sich mit freiem Auge Feldspat tafeln und größere Erzkristalle erkennen.

##### Mineralbestand

Hauptgemengteile: Plagioklas, Chlorit, Epidot.

Nebengemengteile: Kalzit, Leukoxen, Ilmenit, Titanomagnetit.

Akzessorien: Apatit, Zirkon, Titanit.

Die Gesteine zeigen Reste eines intersertalen Gefüges, das metamorph überprägt worden ist. Vom Liegenden zum Hangenden nimmt im Lagergang bei der Ruine Steinschloß (Abb. 2) die Korngröße der Plagioklasse ab. Auch der Gehalt an Erz geht leicht zurück. Die Plagioklasse erreichen Korngrößen bis zu 1,5 mm. Sie sind stark saussuritisiert. Mineralgemenge aus Chlorit und Epidot könnten ehemalige Glasanteile oder tektonisch deformierte Pseudomorphosen nach Pyroxen darstellen.

Die geschieferten Metadiabase haben ebenfalls eine grüne Farbe und fallen durch bis zu 3 mm große Plagioklas-Einsprenglinge auf. Sie zeigen ein gut entwickeltes S-Flächengefüge.

##### Mineralbestand

Hauptgemengteile: Plagioklas, Chlorit.

Nebengemengteile: Epidot, Biotit, Kalzit, etwas Quarz und Hellglimmer.

Akzessorien: Apatit, Zirkon, Leukoxen, Erz.

Die Anordnung der Minerale läßt auf ein deformiertes, ehemals porphyrisches Gefüge schließen, wobei die Grundmasse völlig rekristallisiert ist. Plagioklas liegt in zwei Generationen vor. Einerseits liegt Plagioklas in Form von Einsprenglingen vor, die durch Serizit-, Chlorit- und Kalzit-Einschlüsse getrübt sind. Auch vom Rand her und entlang von Rissen werden diese Einsprenglinge von derartigen Umwandlungen angegriffen. Gebogene und kataklastisch geknickte Exemplare kommen vor. An den Knickstellen und an tektonisch stark beanspruchten Bereichen der Kornränder der Plagioklasse ist eine beginnende Rekristallisation zu beobachten. Hierfür gibt VOLL (1983a,b) eine Temperatur von ca. 500°C an. Er räumt jedoch ein, daß derartige Erscheinungen in seltenen Fällen auch schon bei 400°C auftreten können. Die zweite Plagioklas-Genera-

tion bildet zusammen mit Chlorit die Grundmasse. Da diese Plagioklasse durchwegs frisch und meist unverzwilligt sind, unterscheiden sie sich nicht nur durch die Korngröße von den Einsprenglingen. Meist liegen die Karbonatgehalte bei unter 5 %. Nur in zwei Fällen übersteigen sie 10 % bei ebenfalls erhöhtem Quarzgehalt. Der erhöhte Kalzit-Gehalt ist auf eine sekundäre Karbonatisierung zurückzuführen, der Quarzgehalt auf die bei der Chloritisierung von Pyroxenen freiwerdende Kieselsäure. Deutliche Hellglimmeranteile und klastische Turmaline wie in den Grünschiefern und Phylliten fehlen jedoch ganz.

Mineralbestand und Gefüge sprechen für eine Interpretation als Metadiabas. Übergänge zwischen massigem und geschiefertem Typ sind nur selten zu beobachten. Die geochemischen Daten (Kap. 5) legen eine Einordnung beider Typen in eine Differentiationsreihe nahe.

#### 3.2.2. Grünschiefer

Unter dem Begriff „Grünschiefer“ werden hier licht- bis dunkelgrüne, feinkörnig bis dichte, schiefrige Gesteine zusammengefaßt. Die Schieferung ist unterschiedlich stark, meist jedoch deutlich ausgeprägt. Schieferungsflächen glänzen matt oder sind von braunen Verwitterungskrusten bedeckt. Eine zweite Krenulationsschieferung ist öfters zu erkennen. Im Aufschlußbild sind die Grünschiefer meist stark deformiert. Es treten offene, enge und auch isoklinale Falten auf. In karbonatreichen Varietäten ist das Karbonat in Lagen oder Linsen angereichert. Nördlich der Ruine Steinschloß kommt ein Grünschiefer vor, der idiomorphe bis zu 1.5 mm große Magnetitkristalle führt.

##### Mineralbestand

Hauptgemengteile: Albit, Chlorit, Hellglimmer.

Nebengemengteile: Kalzit, Quarz, Aktinolith, Epidot, Chloritoid.

Akzessorien: Apatit, Erz, Titanit, Zirkon, Turmalin.

Auf der Basis des mikroskopischen Mineralbestandes lassen sich nach FRITSCH et al. (1967) folgende Gesteinstypen unterscheiden: Chlorit-Albit-Schiefer, Albit-Chlorit-Schiefer, Grünschiefer, Chloritschiefer, Chloritphyllit und Chloritoidphyllit. Es bestehen alle Übergänge, und der Farbeindruck variiert im Verhältnis von Hellglimmer zu Chlorit. Eine Abgrenzung dieser verschiedenen Typen im Gelände ist bei der Kartierung nicht durchführbar.

Der Mineralbestand und geochemische Analysen (Kap. 5) lassen auf tuffitische Ablagerungen mit wechselnden Anteilen epiklastischer Beimengungen schließen. Das vereinzelte Vorkommen von klastischen Turmalinen und von Chloritoid sowie die meist deutlichen Anteile von Hellglimmern sind eindeutige Anzeichen für die Beimengung epiklastischen Materials. Jedoch kommen auch Lagen vor, in denen diese Minerale weitgehend fehlen und Aktinolith und Epidot mehr in den Vordergrund rücken. Deren Edukte könnten dann reine basaltische Tuffe sein.

#### 3.2.3. Phyllite

Die Phyllite führen in abnehmender Häufigkeit Hellglimmer, Quarz, Plagioklas, Chloritoid, Zoisit, Zirkon, Apatit, Turmalin und Erz. Die Gefügemerkmale gleichen denen der Grünschiefer. Auch hier überlagern sich 2 Schieferungen unter annähernd rechtem Winkel. Stengelig ausgebildeter Chloritoid ist in  $S_1$ -Richtung einge-

regelt, demnach prä- bis syn-S<sub>1</sub> gesproßt und in S<sub>2</sub>-Richtung gebogen oder leicht geknickt.

Selten tritt ein graphitischer Granatphyllit auf, so z.B. nördlich des Adelsberges (Abb. 2), der zusätzlich Granat, Biotit und Graphit führt. Reliktische Interngefüge in rotierten, bis 1.5 mm großen Granatporphyroblasten bezeugen bezüglich der Hauptschieferung prä-deformatives Wachstum der Granate. Entlang von Rissen und am Rand zeigen die Granate Umwandlungen in Chlorit.

#### 4. Metamorphose und Deformation

Die Abschätzung der Metamorphosebedingungen beruht auf Beobachtungen von Mineralparagenesen in Dünnschliffen. Deren Bezug zur Hauptschieferung S<sub>1</sub> ist für die Rekonstruktion der Metamorphosegeschichte und eine etwaige Alterseinstufung der Ereignisse von besonderer Bedeutung.

##### 4.1 Glimmerschieferserie

Die Granatglimmerschiefer zeigen in S<sub>1</sub> zerrissene und in Bezug zu S<sub>1</sub> rotierte Granate, die demgemäß prä-S<sub>1</sub> entstanden sind. Als typisch für die Amphibolitfazies bezeichnet MIYASHIRO (1973) die Paragenese grüne Hornblende plus Plagioklas (An 20–30 %) plus Granat wie sie im Granatamphibolit auftritt. Daraus ist abzuleiten, daß beim Metamorphosehöhepunkt die Grenze zur mittelgradigen Metamorphose (WINKLER 1979) erreicht wurde.

Eine zweite, syn- bis post-S<sub>1</sub> abgelaufene Metamorphose verlief unter Bedingungen des oberen Bereiches der niedriggradigen Metamorphose. Dies dokumentieren Umwandlungen der Granate der Glimmerschiefer zu Chlorit randlich und entlang von Rissen sowie die randlich chloritisierten Hornblenden des Amphibolits. Basisparallel mit Muskowit verwachsener Biotit kommt in den Glimmerschiefern als Querglimmer vor. Die Ausbildung der Quarze der Serizit-Quarzite belegen, daß die Schwellentemperatur für die Rekrystallisation des Quarzes bei abklingender Deformation überschritten wurde.

##### 4.2. Neumarkter Serie

Die Granat-Chlorit-Biotit-Muskowit-Quarz-Paragenese der Phyllite der Neumarkter Serie ist typisch für die Granat-Zone (WINKLER, 1979) der niedriggradigen Metamorphose. Anhand ihres reliktschen Interngefüges belegen rotierte Granate ihre Entstehung prä-S<sub>1</sub>. Nach MIYASHIRO (1973) ist die Paragenese barroisitische Hornblende – Chlorit – Epidot – Biotit – Albit der Grünsteine der Teufenbachserie der Epidot-Amphibolit-Fazies zuzuordnen. Da die barroisitischen Hornblenden durch S<sub>1</sub> geknickt oder gebogen sind, muß ihre Entstehung prä-S<sub>1</sub> angenommen werden. Randlich und entlang von Rissen zeigen sie Umwandlungen zu Biotit und Chlorit.

Kleine Aktinolith-Nädelchen liegen zusammen mit Chlorit regellos in Albitpflastern und bilden die 2. Hornblende-Generation der Grünsteine. Weiterhin ist das gemeinsame Auftreten von Albit – Chlorit – Biotit –

Tabelle 1. Metamorphe Mineralparagenesen der untersuchten Gesteinsserien bei Teufenbach/Scheifling (Steiermark) und ihre versuchsweise Zuordnung zur alpidischen und variskischen (?altalpidischen) Metamorphose.

	Alpidische Metamorphose	Variskische (?altalpidische) Metamorphose	
Glimmerschieferserie.	Biotit-Muskowit		grüne Hornblende-Granat-Plagioklas (An 20-28)
Neumarkter Serie: Teufenbachserie	Aktinolith-Epidot/Zoisit-Biotit-Chlorit-Albit	barrosit. Hornblende-Albit	
Neumarkter Serie: Steinbergserie	Aktinolith-Epidot/Zoisit-Chlorit-Albit, Biotit-Muskowit-Albit-Quarz	Granat-Biotit-Muskowit-Chlorit-Quarz	
Fazieseinteilung nach Miyashiro (1975)	Grünschiefer-Fazies	Epidot-Amphibolit-Fazies	Amphibolit-Fazies
Metamorphosegrade nach Winkler (1979)	niedriggradige Metamorphose		mittelgradige Metamorphose

Epidot/Zoisit in den Metadiabasen der Steinbergserie charakteristisch für die niedriggradige Metamorphose. Hierbei weisen Rekrystallisationserscheinungen an Feldspäten auf Temperaturen von mindestens 400°C hin.

Aus diesen Beobachtungen läßt sich wie schon für die Glimmerschieferserie ein mindestens zweiphasiger Metamorphoseablauf ableiten. Tabelle 1 gibt eine Zusammenfassung des Metamorphosegeschehens. Eine Alterseinstufung der Metamorphoseereignisse kann nicht mit letzter Sicherheit vorgenommen werden. In Bezug auf die Gliederung tektonischer Ereignisse nach Von Gosen (1982) kommt der als S<sub>1</sub> bezeichneten Hauptschieferung ein altalpidisches Alter zu. Den prä-S<sub>1</sub> durchschrittenen Metamorphosehöhepunkt als variskisch einzustufen ist daher naheliegend. Da aber maximale Metamorphose und prägende Deformation eines Ereignisses nicht gleichzeitig ablaufen müssen, kann ein altalpidisches Alter des Metamorphosehöhepunktes nicht ganz ausgeschlossen werden.

#### 5. Geochemie

Aus dem Untersuchungsgebiet wurden 28 Proben von Metavulkaniten auf Haupt- und Spurenelemente mit der Röntgenfluoreszenz nach den Methoden von NORRISH & CHAPPEL (1977) analysiert. Die einzelnen Analysenwerte können der Diplomarbeit von ERTEL (1988) entnommen werden. Hier werden in Tabelle 2 sechs repräsentative Analysen von Grünsteinen und Albitfelsen der Teufenbach-Serie und von Metadiabasen und Grünschiefern der Steinberg-Serie wiedergegeben. Aus dieser Tabelle kann man übersichtsmäßig folgendes ableiten: Die Grünsteine der Teufenbach-Serie sind Meta-Alkalibasalte (Probe E10) und Meta-Trachyandesite (E11), die sich durch hohe Ti-, P-, Nb- und Zr-Gehalte auszeichnen. Na überwiegt gegenüber K, was auf eine Spilitisierung schließen läßt. Die Albitfelse (Probe E2) ähneln Meta-Trachyten mit hohen Na-, P-, Nb- und Zr-Gehalten. Die massigen Metadiabase der Steinberg-Serie (Probe E26) sind außerordentlich Ti-reich. Auch sie führen außerdem hohe Na-, P-, Nb- und Zr-Werte. Die geschieferten Metadiabase der Steinberg-Serie

Tabelle 2.

Ausgewählte chemische Analysen von Metavulkaniten der Murauer Decke bei Teufenbach/Scheiffling (Steiermark).

E2 = Albitfels der Teufenbach-Serie; E10 = Basischer Grünstein (Prasinit) der Teufenbach-Serie; E11 = Intermediärer Grünstein der Teufenbach-Serie; E17 = Geschieferter Metadiabas-Lagergang der Steinberg-Serie; E23 = Grünschiefer der Steinberg-Serie; E26 = Massiger Metadiabas-Lagergang der Steinberg-Serie.

u.N. = Unter der Nachweisgrenze (Nachweisgrenze von CaO = 0,35 %, K<sub>2</sub>O = 0,13 %, Cr = 100 ppm, Ni = 39 ppm, Rb = 7 ppm).

Probe Nr.	E 2	E 10	E 11	E 17	E 23	E 26
SiO <sub>2</sub> %	58,3	48,3	53,4	44,0	50,8	43,3
TiO <sub>2</sub>	1,8	3,4	1,8	3,0	1,1	4,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,2	14,1	16,8	13,2	26,8	14,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,7	6,2	4,8	4,1	1,7	6,9
FeO	4,2	5,6	4,8	7,9	6,1	8,4
MnO	0,04	0,20	0,13	0,22	0,06	0,18
MgO	0,32	4,6	2,9	3,2	2,1	4,6
CaO	3,0	7,7	3,5	8,1	u.N.	8,3
Na <sub>2</sub> O	8,0	4,1	6,6	4,5	1,6	3,5
K <sub>2</sub> O	0,26	1,8	2,5	1,1	4,5	u.N.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,75	0,60	0,57	0,37	0,09	0,58
H <sub>2</sub> O+	0,36	1,5	0,82	2,3	3,9	3,2
CO <sub>2</sub>	0,34	1,2	0,52	8,0	1,1	1,2
Summe	100,27	99,30	99,14	99,99	99,85	99,06
Ba ppm	113	490	783	510	618	167
Cr	u.N.	125	u.N.	u.N.	101	u.N.
Nb	46	46	62	24	23	48
Ni	u.N.	47	u.N.	u.N.	75	u.N.
Rb	u.N.	39	47	43	226	u.N.
Sr	160	459	409	277	245	542
Y	48	31	43	37	62	25
Zr	500	330	547	230	125	345

(Probe E17) enthalten etwas weniger Ti als die massigen Metadiabase, dafür aber mehr CO<sub>2</sub>, was auf eine sekundäre Karbonatisierung schließen läßt. Auch hier überwiegt Na gegenüber K. Beide Metadiabas-Typen sind von Alkali-Basalten abzuleiten. Die Grünschiefer (Probe E23) stellen meist keine reinen basaltischen Vulkanite dar. Es sind Tuffite, die stark mit epiklastischen, tonigen Beimengungen vermischt sind. Dies läßt sich aus den hohen Al- und K-Gehalten schließen, die für eine große Beteiligung tonigen Materials sprechen, was in dem hohen Serizit-Gehalt zum Ausdruck kommt. In der CIPW-Norm, die hier nicht wiedergegeben ist, enthalten die Grünschiefer viel Corund, der den rechnerischen Überschuß von Al darstellt. Die Grünschiefer werden deshalb hier bei der Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

Wichtig für die Klassifikation und die Zuordnung zu bestimmten geotektonischen Bereichen sind immobile Spurenelemente wie Ti, Zr, Nb, Y und P, deren Gehalte sich während einer Spilitisierung und Metamorphose nicht verändern und somit dem primär-magmatischen Stoffbestand entsprechen (WINCHESTER & FLOYD, 1977; PEARCE et al., 1981; PEARCE 1982). Eine gewisse Einteilung kann man auch mit Hilfe des SiO<sub>2</sub>-Gehaltes durchführen, der eine grobe Einteilung in basische (43,0–51,9 % SiO<sub>2</sub>) und intermediäre (52,0–62,9 % SiO<sub>2</sub>) Metavulkanite erlaubt.

In Abbildung 5 sind die Analysen der Teufenbach- und Steinberg-Serie in das Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y-Diagramm von WINCHESTER & FLOYD (1977) eingetragen, mit dessen Hilfe man metamorphe Vulkanite klassifizieren kann. Daraus geht hervor, daß die basischen und intermediären Glieder der Teufenbach-Serie in das Feld der Alkali-Basalte und Trachy-Andesite fallen. Die massigen Metadiabase der Steinberg-Serie fallen in das Feld der Alkali-Basalte und die geschieferten Metadiabase der Steinberg-Serie liegen an der Grenze der Alkali- und Subalkali-Basalt-Felder. Es liegt hier demnach eine

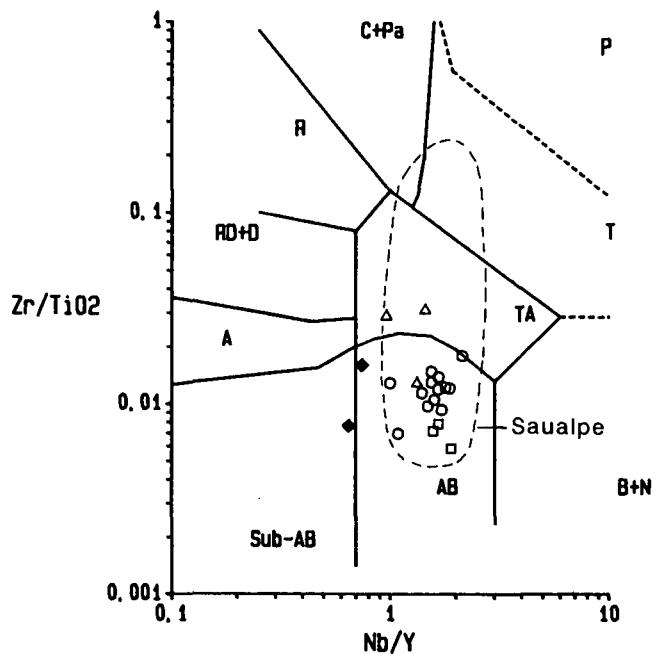


Abb. 5.

Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y-Diagramm nach WINCHESTER & FLOYD (1977) für Metavulkanite der Teufenbach- und Steinberg-Serie.

○ = Basische Metavulkanite der Teufenbach-Serie; △ = Intermediäre Metavulkanite der Teufenbach-Serie; □ = Massige Metadiabase der Steinberg-Serie; ◆ = Geschieferte Metadiabase der Steinberg-Serie.

Feld gestrichelter Linie: Vergleichsanalysen von Metavulkaniten aus der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe (LOESCHKE, 1988).

Sub-Ab = Sub-Alkalibasalte; AB = Alkali-Basalte; B + N = Basanite und Nephelinite; A = Andesite; Ta = Trachyandesite; RD + D = Rhyodazite und Dazit; T = Trachyte; R = Rhyolithe; C + Pa = Comendite und Pantellerite; P = Phonolithe.

Vulkanit-Assoziation vor, die ganz überwiegend basische bis intermediäre Alkali-Gesteine umfaßt. Die Streubreite ließe sich durch eine gravitative Kristallisations-Differentiation von Olivin, Klinopyroxen und Plagioklas in einer Magmakammer erklären, die die Förderung von Alkali-Basalten und Trachyandesiten (Hawaiite, Mugearite) erlaubt.

In Abb. 6, die das TiO<sub>2</sub>-Zr-Diagramm von PEARCE et al. (1981) wiedergibt, wird der Versuch unternommen, den ehemaligen geotektonischen Bildungsraum dieser Metavulkanite zu rekonstruieren. Es können darin mitteleozänische Rücken-Basalte (MORB) von Inselbogen-Laven und Intraplatten-Laven unterschieden werden. Die Analysen der Teufenbach- und Steinberg-Serie fallen ausschließlich in das Feld der Intraplattenlaven. Auch hier ist eine gewisse Differentiation zu erkennen. Die meisten Analysen liegen oberhalb der schräg von links unten nach rechts oben verlaufenden Linie, die die Basalte (oben) von intermediären Vulkaniten (unten) trennt. Einige Analysen liegen unterhalb dieser Linie, was auf einen abnehmenden Ti-Gehalt zurückzuführen ist. Darin kommt die beginnende Auskristallisation von Titano-Magnetit zum Ausdruck, die sich mit zunehmender Differentiation bei zunehmenden SiO<sub>2</sub>-Gehalten einstellt. Intraplattenlaven sind solche Laven, die fernab von Plattengrenzen gefördert werden. Dazu gehören Laven ozeanischer Inseln und intrakontinentaler Gräben. Auch manche Laven aus „Back-Arc“-Bereichen haben solche Zusammensetzungen wie z.B. die Laven, die auf einigen Inseln im Japanischen Meer gefördert werden (NAKAMURA et al., 1985). Generell kann man sagen, daß Alkali-Vulkanite in den meisten Fällen in Dehnungszonen auftreten (WILSON 1989).



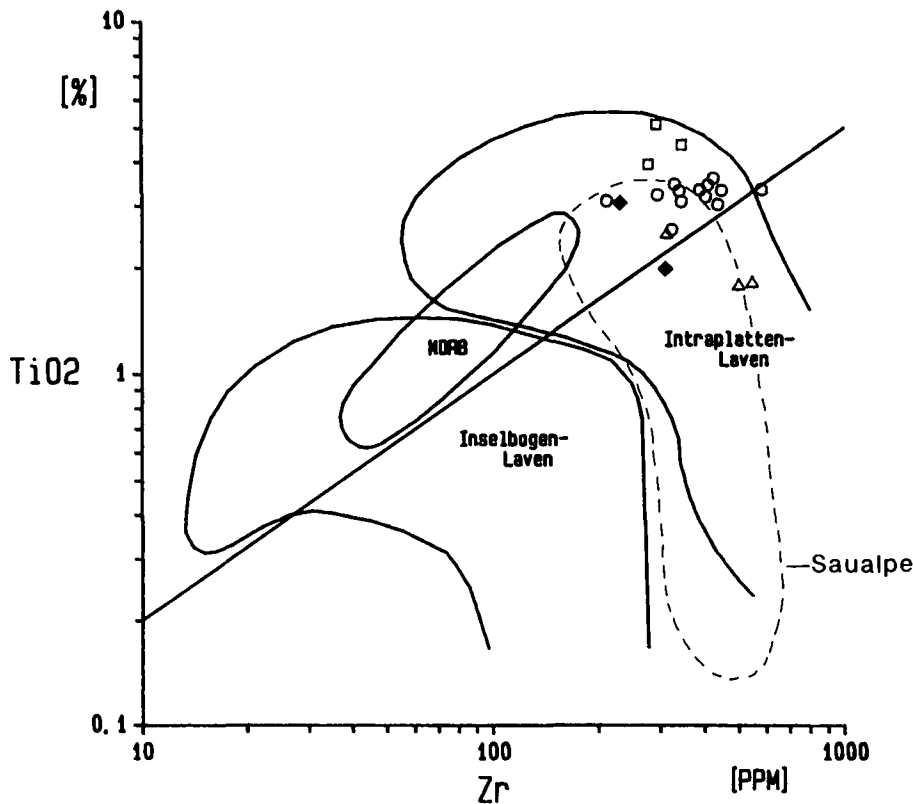


Abb. 6.  
TiO<sub>2</sub>-Zr-Diagramm nach PEARCE et al. (1981) für Metavulkanite der Teufenbach- und Steinberg-Serie.  
MORB = Mittelozeanische Rücken-Basalte.  
Symbole siehe Legende Abb. 5.

Abschließend sei noch auf Abb. 7 hingewiesen, in welcher die Sr-, K<sub>2</sub>O-, Rb-, Ba-, Nb-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-, Zr-, TiO<sub>2</sub>- und Y-Gehalte der basischen Metavulkanite der Teufenbach- und Steinberg-Serie mit den entsprechenden Gehalten von Basalten mittelozeanischer Rücken nach PEARCE (1982) normiert worden sind. Wie die Verteilungskurve zeigt, streuen die Sr-, K<sub>2</sub>O-, Rb- und Ba-Gehalte stark, weil diese Elemente während sekundärer Überprägungen mobil sind. Dagegen zeigen die Nb-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-, Zr-, TiO<sub>2</sub>- und Y-Werte eine wesentlich geringere Streuung. Charakteristisch ist deshalb der Kurvenverlauf von Nb ab nach rechts. Er stimmt überein mit dem Kurvenverlauf von Alkali-Intraplatten-Basalten. Es kann deshalb kein Zweifel sein, daß die Metavulka-

nite der Teufenbach- und Steinberg-Serie Alkali-Basalte und deren intermediäre Differentiationsprodukte sind.

Der ehemalige geotektonische Bildungsraum ist ein Dehnungsfeld gewesen, dessen genaue Natur nicht näher charakterisiert werden kann, der aber wahrscheinlich einem intrakontinentalen Rift-Bereich oder einem passiven Kontinentrand glich. Da Hinweise auf die Existenz ozeanischer Kruste im Untersuchungsgebiet fehlen, kommen ozeanische Inseln und „Back-Arc“-Bereiche mit ozeanischer Krustenunterlage für die Interpretation nicht in Betracht. Die untersuchten Gesteine ähneln geochemisch sehr stark den Alkali-Basalten und Trachyandesiten (Hawaiite, Mugearite) auch anderer Bereiche der Gurktaler Decke (Magdalensberg-Serie, Saualpe, Turracher Höhe, Murauer Paläozoikum, GIESE, 1988; LOESCHKE, 1988, 1989a,b; SCHNEPF, 1989). Die Metavulkanite der Teufenbach- und Steinberg-Serie fügen sich deshalb gut in das Bild eines geotektonischen Dehnungsbereiches ein, das auch aus anderen Bereichen der Ostalpen zur Zeit des oberen Ordoviz/Silurs rekonstruiert werden konnte (LOESCHKE, 1989a).

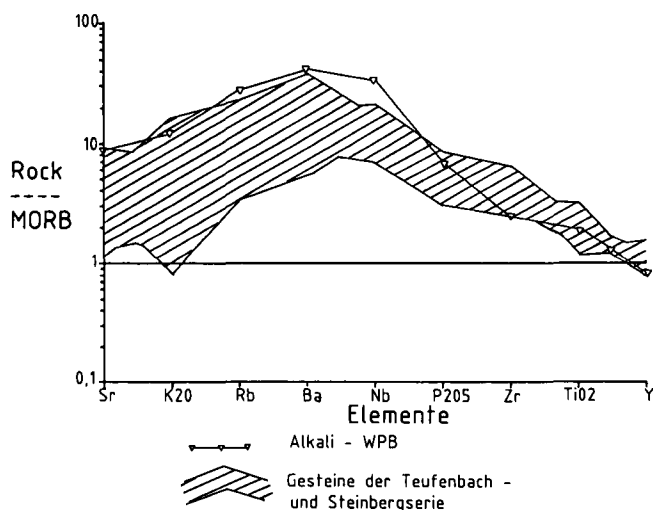


Abb. 7.  
Sr-, K<sub>2</sub>O-, Rb-, Ba-, Nb-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-, Zr-, TiO<sub>2</sub>- und Y-Werte von basischen Metavulkaniten der Teufenbach- und Steinberg-Serie normiert mit entsprechenden Werten mittelozeanischer Rücken-Basalte nach PEARCE (1982). WPB = Intraplattenbasalte („Within Plate Basalt“).

## 6. Vergleiche mit der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe

Ganz ähnliche Gesteine wie in der Teufenbach- und Steinberg-Serie treten in der Phyllit-Gruppe der südlichen Saualpe auf (KLEINSCHMIDT et al., 1975; LOESCHKE, 1988). Auch von dort sind Grünsteine (Epidot-Amphibolite), Albitfelse (Meta-Trachyte), Grünschiefer und Phyllite bekannt. Der Metamorphosegrad der Phyllit-Gruppe entspricht demjenigen der Teufenbach- und Steinberg-Serie. Auch wird die Phyllit-Gruppe der Sau-

alpe zur Murauer Decke gerechnet (NEUBAUER & PISTOTNIK, 1984). Wie aus Abb. 5 und 6 hervorgeht, überlappen sich die beiden Gesteinsgruppen in ihrer chemischen Zusammensetzung. Allerdings führt die Phyllitgruppe der südlichen Saualpe zusätzlich noch helle Metavulkanite rhyolithischer Zusammensetzung mit hohen Zr- und Nb-Gehalten, die in der Teufenbach- und Steinberg-Serie nicht auftreten. Insofern könnten die Bildungsorte beider Gebiete zwar ähnlich, aber nicht identisch gewesen sein.

### Dank

Die chemischen Analysen wurden im Geochemischen Zentrallabor der Universität Tübingen (Leiter Prof. Dr. M. SATIR) durchgeführt. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte die Untersuchungen durch eine Sachbeihilfe. Für diese Hilfe sei vielmals gedankt.

### Literatur

- ERTEL, Th.: Geologie und Geochemie der Murauer Decke am Nordhang des Kreuzecks in der Steiermark/Österreich. – 77 S., Unveröff. Dipl. Arb. Univ. Tübingen 1988.
- FRITSCH, W., MEIXNER, H. & WIESENER, H.: Zur quantitativen Klassifikation der kristallinen Schiefer. – N. Jb. Mineral. Mh., 1967, 364–367, Stuttgart 1967.
- GIESE, U.: Altpaläozoischer Vulkanismus am NW-Rand der Gurktaler Decke. Geologie, Petrologie, Geochemie. – 227 S., Diss. Univ. Tübingen 1988.
- GOSEN, W. von: Geologie und Tektonik am Nordostrand der Gurktaler Decke (Steiermark/Kärnten – Österreich). – Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, 53, 33–149, Hamburg 1982.
- GOSEN, W. von, HAIGES, K.-H., NEUBAUER, F., PISTOTNIK, J. & THIEDIG, F.: Die tektonischen Baueinheiten am Nord- und Westrand der Gurktaler Decke (Österreich). – Jb. Geol. B.-A., 127, 693–699, Wien 1985.
- KERNER, F. & LOESCHKE, J.: Zur Petrographie, Röntgenographie und Geochemie der Eisenhutschiefer (Gurktaler Alpen). – Jb. Geol. B.-A., 134/1, 53–64, Wien 1991.
- KLEINSCHMIDT, G., NEUGEBAUER, J. & SCHÖNBERG, R.: Gesteinsinhalt und Stratigraphie der Phyllitgruppe in der Saualpe. – In: PILGER, A., SCHÖNBERG, R. & WEISSENBACH, N. (Hrsg.): Geologie der Saualpe. – Clausth. geol. Abh., Sdbd. 1, 11–44, Clausthal 1975.
- LOESCHKE, J.: Metavulkanite aus der Phyllitgruppe der südlichen Saualpe (Kärnten, Österreich) und ihre plattentektonische Bedeutung. – Jb. Geol. B.-A., 131, 301–314, Wien 1988.
- LOESCHKE, J.: Lower Palaeozoic volcanism of the Eastern Alps and its geodynamic implications. – Geol. Rdsch., 78, 599–616, Stuttgart 1989a.
- LOESCHKE, J.: Die paläotektonische Stellung der Magdalensberg-Serie (Ober-Ordovizium, Gurktaler Decke, Kärnten, Österreich). – Carinthia II, 179/99, 491–507, Klagenfurt 1989b.
- LOESCHKE, J., KRETZSCHMAR, Th., LANGER, V. & STRECK, M.: Zur Geologie der Norischen Decke nordwestlich von Kalwang (Eisenerzer Alpen, Steirische Grauwackenzone / Österreich). – Jb. Geol. B.-A., 133, 345–363, Wien 1990.
- MIYASHIRO, A.: Metamorphism and metamorphic belts. – 492 S., London (Allen & Unwin) 1975.
- NAKAMURA, E., CAMPBELL, I. & SUN, S.: The influence of subduction processes on the geochemistry of Japanese alkaline basalts. – Nature, 316, 55–58, London 1985.
- NEUBAUER, F.: Zum Alter von Dolomiten auf der Stolzalpe bei Murau und am Adelsberg bei Neumarkt (Stmk.). – Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 1979, 116–119, Wien 1979.
- NEUBAUER, F. & PISTOTNIK, J.: Das Altpaläozoikum und Unterkarbon des Gurktaler Deckensystems (Ostalpen) und ihre paläogeographischen Beziehungen. – Geol. Rdsch., 73, 149–174, Stuttgart 1984.
- NORRISH, K. & CHAPPEL, B.W.: X-ray fluorescence spectrometry. – In: ZUSSMANN, J. (Hrsg.): Physical methods in determinative mineralogy. – S. 201–277, London (Academic Press) 1977.
- PEARCE, J.: Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. – In: THORPE, R.S. (Hrsg.): Andesites. Orogenic andesites and related rocks. – S. 525–548, New York (John Wiley) 1982.
- PEARCE, J., ALABASTER, T., SHELTON, A.W. & SEARLE, M.P.: The Oman ophiolite as a Cretaceous arc-basin complex: evidence and implications. – Phil. Trans. Roy. Soc. London, A 300, 299–317, London 1981.
- RAITH, M.: The Al-Fe (III) epidote miscibility gap in a metamorphic profile through the Penninic series of the Tauern window, Austria. – Contrib. Mineral. Petrol., 57, 99–117, Heidelberg 1976.
- SCHNEPF, H.-G.: Vulkanismus und Sedimentologie im Murauer Paläozoikum (Gurktaler Decke/Oberostalpin/Österreich). – Arb. Inst. Mus. Geol. Paläont. Univ. Tübingen, 2, 1–183, Tübingen 1989.
- TURNER, A.: Metamorphose und Tektonik im Raume des Gurktaler Paläozoikums und des kata-mesozonalen Kristallins der Saualpe und der Seetaler Alpen. – Z. deutsch. geol. Ges., 122, 123–129, Hannover 1971.
- TURNER, A., & VAN HUSEN, D.: Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000, Blatt 160 Neumarkt in Steiermark. – Wien (Geol. B.-A.) 1978.
- TURNER, A., VAN HUSEN, D., NEUBAUER, F., PISTOTNIK, J. & SCHULTZE, E.: Geologische Karte 1 : 50.000 und Erläuterungen zu Blatt 160 Neumarkt in Steiermark. – 64 S., Wien (Geol. Bundesanst.) 1980.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich. Bd. 1. Die Zentralalpen. – 766 S., Wien (Deuticke).
- VOLL, G.: I. Gefügeanalyse der Gebirge. – 114 S., Unveröff. Vorles. Skript, Univ. Köln 1983a.
- VOLL, G.: II. Mikrogefüge. – 132 S., unveröff. Vorles. Skript, Univ. Köln 1983b.
- WILSON, M.: Igneous petrogenesis. A global tectonic approach. – 466 S., London (Unwin Hyman) 1989.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A.: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. – Chem. Geol., 20, 325–343, Amsterdam 1977.
- WINKLER, H.G.F.: Petrogenesis of metamorphic rocks. – 348 S., Berlin (Springer) 1979.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 20. September 1991.