

## Petrographie, Geochemie und geotektonische Einstufung des miozänen Vulkanismus im Steirischen Becken (Österreich)

PETER SLAPANSKY\*), REINHARD BELOCKY\*), HEINZ FRÖSCHL\*\*), PETR HRADECKÝ\*\*\*) & PETER SPINDLER\*\*)

11 Abbildungen, 2 Tabellen

*Steirisches Becken*  
*Miozän*  
*Vulkanismus*  
*Geochemie*  
*Dazit*  
*Trachyandesit*  
*Latit*

*Österreichische Karte 1:50.000*  
*Blätter 164, 165, 166, 190, 191, 192, 207, 208*

### Inhalt

Zusammenfassung .....	419
Abstract .....	419
1. Einleitung .....	420
2. Die miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens .....	420
3. Petrographie .....	421
4. Geochemie .....	423
5. Geotektonische Einstufung anhand von Diskriminierungsdiagrammen .....	430
6. Diskussion und Schlußfolgerungen .....	431
Dank .....	432
Literatur .....	432

### Zusammenfassung

Die miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens lassen sich in zwei geochemisch eindeutig unterscheidbare Gruppen trennen, die sich auch in ihrem geographischen Auftreten und altersmäßig etwas unterscheiden. Überwiegend im Karpatien treten die hoch-K Latite und Dazite von Mitterlabill, St. Nikolai und Wiersdorf auf, während die shoshonitischen Latite von Paldau, Bad Gleichenberg und Walkersdorf hauptsächlich in den Zeitraum Karpatien – Unteres Badenien fallen. Die Magmen sind durch Assimilation kontinentaler Kruste beeinflusst. Die erste Gruppe läßt aufgrund von Spurenelementen ein ursprünglich etwas höher entwickeltes Magma erkennen, während die zweite, jüngere Gruppe den Einfluß eines etwas primitiveren Magmas, aber auch einen höheren Anteil an Krustenkontamination aufweist. Der Chemismus der Vulkanite weist insgesamt einen starken Subduktionsbezug auf. Die Magmenbildung dürfte allerdings erst deutlich nach Ende der aktiven Subduktion in einem Dehnungsregime erfolgt sein, wobei subduziertes oder durch die Subduktion metasomatisch beeinflusstes Material zur Aufschmelzung gelangte.

### Petrography, geochemistry and geotectonic interpretation of the Miocene volcanism in the Styrian Basin (Austria)

#### Abstract

In the Miocene volcanics of the Styrian Basin two geochemically different groups can be distinguished, which also show different geographical position and age. High-K latites and dacites from Mitterlabill, St. Nikolai and Wiersdorf are of Karpatian age, while shoshonitic latites from Paldau, Bad Gleichenberg and Walkersdorf exhibit a range of age mostly from Karpatian to Lower Badenian time. The magmas have been widely affected by assimilation of continental crust. The first group shows trace element characteristics of a more evolved magma, while the second group shows the influence of a more primitive magma, but at the same time a higher degree of contamination by continental crust. The geochemistry of the volcanic rocks shows strong relation to subduction, but the actual magma generation seems to have occurred long after the end of active subduction in an extensional tectonic regime, where melting of subducted or metasomatically altered material took place.

Anschriften der Verfasser: \*) Mag. Dr. REINHARD BELOCKY, Dr. PETER SLAPANSKY, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, A-1031 Wien, \*\*) Mag. Dr. HEINZ FRÖSCHL, Mag. Dr. PETER SPINDLER, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Faradaygasse 3, A-1031 Wien, \*\*\*) Dr. PETR HRADECKÝ, Český geologický ústav, Klárov 3/131, CZ-118 21 Praha-1.

# 1. Einleitung

Das Steirische Tertiärbecken bildet einen Übergangsbereich von den Ostalpen zum Pannonischen Becken, und es ist gleichzeitig das einzige der österreichischen Tertiärbecken, in dem Vulkanismus eine bedeutende Rolle spielt. Zwei wesentliche magmatische Hauptphasen sind zu unterscheiden: ein intermediärer K-betonter Vulkanismus im Miozän und ein basischer alkalischer Vulkanismus im Plio- und Pleistozän. Besonders die miozänen Vulkanite bilden auch volumsmäßig einen nicht unwesentlichen Teil der Beckenfüllung. Sie sind jedoch zum größten Teil von jüngeren Sedimenten bedeckt und stehen nur an wenigen Stellen an der Oberfläche an.

Im Rahmen des VLG-Projektes ÜLG-28 wurden in den letzten Jahren umfangreiche geochemische Analysen,

insbesondere der Spurenelemente, an Bohrkernproben von miozänen Vulkaniten des Steirischen Beckens durchgeführt.

Diese dienen nun als Grundlage für eine geochemische Einstufung des Vulkanismus und seiner geotektonischen Stellung im Rahmen der Entwicklung des Steirischen Beckens.

# 2. Die miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens

Der Vulkanismus des Steirischen Beckens ist Teil einer sehr komplexen magmatischen Entwicklung des alpin – karpatisch – pannonisch – dinaridischen Raumes im Tertiär, die mit Subduktion in Alpen und Karpaten, mit Krustenausdünnung im "back-arc"-Bereich, sowie Dehnungstektonik in spä-

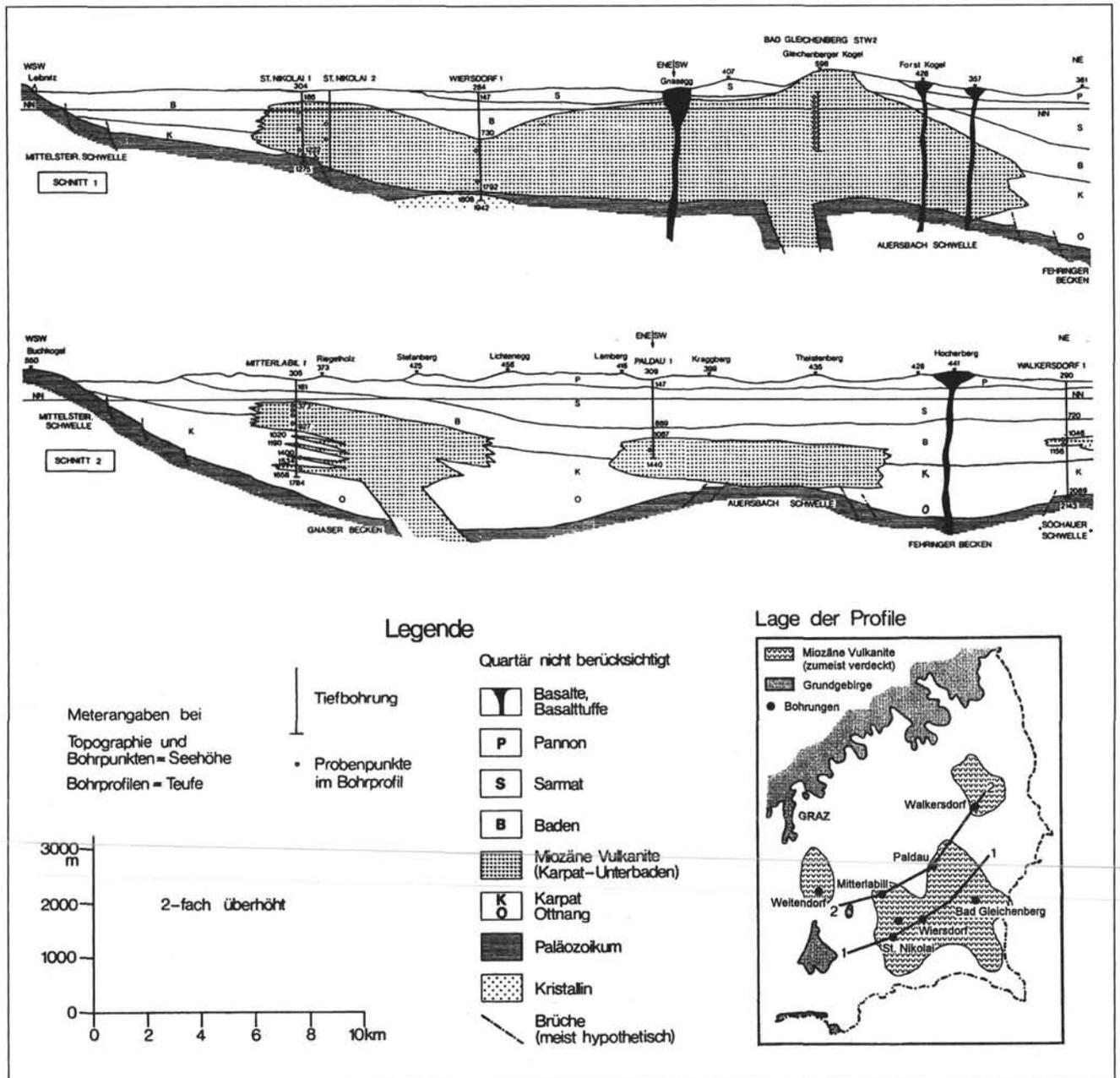


Abb. 1 Lageskizze der verdeckten Vulkanbauten innerhalb des Steirischen Tertiärbeckens (nach FLÜGEL, 1988), sowie Profile durch das Becken (aus EBNER et al., 1986). Die Lage der Bohrungen ist in Kartenskizze und Profilen eingezeichnet, wobei die Bohrungen St. Nikolai 2 und Bad Gleichenberg StW2 nicht genau im Profilschnitt liegen. Die kleinen Kreise neben den Bohrungen kennzeichnen die Lage der Probenpunkte.

ten Phasen der alpidischen Gebirgsbildung verbunden ist. Eine zusammenfassende Übersicht über die vulkanische Entwicklung dieses Raumes gaben zuletzt PÉCSKAY et al. 1995 anhand neuer geochronologischer, biostratigraphischer und paläomagnetischer Daten.

Die vulkanische Aktivität begann im Eggenburgien mit rhyolithischen Tuffen und Rhyodaziten im Pannonischen Becken und in der Zentralslowakei. Es folgt ein davon unabhängiger intermediärer kalkalkalischer, überwiegend andesitischer Vulkanismus, der einen vulkanischen Bogen im Inneren des Subduktionsbogens der Karpaten bildet, und in einen direkt subduktionsgebundenen "arc-type" sowie einen mit einer "back-arc"-Dehnung verbundenen "areal-type" unterteilt werden kann. Dieser hauptsächlich durch Stratovulkane und vulkanoklastische Gesteine manifestierte Vulkanismus dauerte vom Karpaten bis ins Quartär und war zuerst im Pannonischen Becken und in den West-, erst später in den Ostkarpaten aktiv, wobei allerdings nur in den wenigsten Fällen ein kontinuierliches Wandern der vulkanischen Zentren festgestellt werden kann. Dem kalkalkalischen folgt ein zumeist eindeutig jüngerer alkalischer, vielfach alkalibasaltischer Vulkanismus. In einigen Bereichen ist allerdings eine enge räumliche und zeitliche Verflechtung von kalkalkalischem und alkalischem Vulkanismus zu beobachten (mittlere Slowakei, Ostkarpaten).

Detaillierte Kenntnisse über die miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens sind vor allem den zahlreichen Erdölbohrungen zu verdanken (siehe Angaben zur Literatur in Kapitel 4). Zusammenfassende Darstellungen finden sich bei KOLLMANN, 1965; HERITSCH, 1967; HERITSCH, 1984; EBNER & SACHSENHOFER, 1991; EBNER, 1992 und EBNER & SACHSENHOFER 1995.

Die Eintiefung des Steirischen Beckens beginnt im Oligozän. Der andesitische Vulkanismus setzt im Karpaten gleichzeitig mit einer Phase stärkerer Absenkung (bis 20 cm/100 Jahre) und intensiver synsedimentärer Bruchtektonik ein. Es bildet sich ein vulkanischer Inselkomplex im Bereich Bad Gleichenberg/Mitterlabill.

Im Unterbadeniien verlagert sich die vulkanische Aktivität an den Nordrand des Gleichenberger Massivs, während der Südteil vom Meer überflutet wird. Zusätzlich entstehen die Vulkankomplexe von Kalsdorf (Weitendorf/Wundschuh) und Ilz/Walkersdorf (EBNER & SACHSENHOFER, 1991; EBNER, 1992).

Die Genese der intermediären Vulkanite wird von HERITSCH, 1967 durch den Aufstieg eines Alkali-Olivinbasaltischen Magmas in Krustenniveau und folgende Assimilation von Krustenmaterial gedeutet. EBNER & SACHSENHOFER, 1991 und 1995 sehen den Vulkanismus in Zusammenhang mit subduktionsbezogener Dehnungs- und "strike-slip"-Tektonik während und nach der Subduktion.

In den Publikationen von HARANGI et al., 1995; SERRI et al., 1996 und SERRI et al. 1998 wird die Genese der miozänen Vulkanite im Wesentlichen aufgrund von Krustendehnung interpretiert.

Der interne Aufbau des Steirischen Beckens und die Verbreitung und Mächtigkeit der unter Sedimentbedeckung liegenden Vulkanbauten ist durch geophysikalische Untersuchungen und durch eine ganze Reihe von Tiefbohrungen gut bekannt (EBNER et al., 1986; FLÜGEL, 1988; KRÖLL, 1988; KRÖLL et al., 1988).

Bei den miozänen Vulkanen handelt es sich um große Schildvulkane, die über die Meeresoberfläche ragten. Bereichsweise treten Leithakalkriffe an den Rändern der Vulkane auf.

Der größte ist jener Vulkanbau, der im Gleichenberger Kogel kulminiert, mit etwa 500 km<sup>2</sup> Ausdehnung und einer

Mächtigkeit von zumeist etwa 1000 m, im vulkanischen Zentrum um Bad Gleichenberg bis über 2000 m. Eine Depression an der Oberkante dieses riesigen Vulkanbaus fällt mit dem tiefsten Bereich des über 2500 m tief abgesenkten Gnaser Beckens zusammen. Durch diese gliedert sich der Vulkan in zwei Hauptkörper, einen südwestlichen, in dem die Tiefbohrungen St. Nikolai 1 und 2, Mitterlabill 1 und Wiersdorf 1 liegen, sowie einen nordöstlichen mit den Tiefbohrungen Bad Gleichenberg StW 2 und Paldau 1 (EBNER et al., 1986; FLÜGEL, 1988). Der Vulkan von Kalsdorf bei Graz (mit kleinen Aufschlüssen, sowie Bohrungen bei Weitendorf, Wundschuh) ist maximal nur 200 bis 300 m mächtig, besitzt aber eine Ausdehnung von etwa 125 km<sup>2</sup>. Etwas kleiner ist der Vulkan von Ilz – Walkersdorf, der an der Oberfläche nicht aufgeschlossen ist, mit etwa 85 km<sup>2</sup>. Er weist eine Mächtigkeit von maximal etwa 400 m auf.

Vergleichsweise winzig sind die Bereiche, in denen die miozänen Vulkanite an der Oberfläche anstehen: Das flächenmäßig weitaus größte Vulkanitareal am Gleichenberger Kogel und in dessen Umgebung umfaßt etwa 5 km<sup>2</sup>, punktuelle Aufschlüsse in Steinbrüchen finden sich bei Weitendorf (10 km S von Graz) und als lagergangartiges Vulkanitvorkommen bei Retznei (5 km S von Leibnitz).

Recht unterschiedlich ist die Position der Vulkanbauten relativ zur internen morphologischen Gliederung des Steirischen Tertiärbeckens in Schwellen und Teilbecken. Der Vulkankomplex von Bad Gleichenberg, Mitterlabill, Paldau, St. Nikolai etc. liegt zum Großteil im Bereich des Gnaser Beckens und erstreckt sich nur stellenweise über die randlichen Schwellen. Der Vulkan von Walkersdorf – Ilz sitzt direkt am Rand des Grabenbruchs des Fürstenfelder Beckens, der Vulkan von Kalsdorf – Weitendorf – Wundschuh hingegen liegt fast ausschließlich im Bereich der Sausalschwelle (KRÖLL et al., 1988).

Altersmäßig vergleichbar mit den intermediären Vulkaniten des Steirischen Beckens ist der Basalt von Kollnitz/Lavanttal (LIPPOLT et al., 1975), während die Dazite des Bachergebirges (Pohorje) in Slowenien etwas älter sein dürften (Oberes Oligozän, Unteres Miozän), und in intensivem Kontakt mit Tonaliten der periadriatischen Intrusiva stehen.

Gegen SE treten weitere kleine Vorkommen von altersmäßig und lithologisch vergleichbaren Vulkaniten in N Kroatien (Drau – Save – Gebiet) auf, die aber schon zum dinaridisch - pannonischem Bereich gehören (PÉCSKAY et al., 1995; TARI & PAMIC, 1996).

### 3. Petrographie

Die Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen sind hier kurz zusammengefaßt. Die Ergebnisse aus der Bohrung Bad Gleichenberg StW2 sind in HRADECKÝ et al., 1999 dargestellt. Detaillierte Beschreibungen unter Einbeziehung der Literatur finden sich in BELOCKY et al., 1997. Die Klassifikation der Gesteine erfolgte anhand semi-quantitativer Schätzungen, da eine exakte quantitative Bestimmung aufgrund der Feinkörnigkeit der Matrix nicht möglich war.

Zur Ergänzung der Dünnschliffuntersuchungen wurden für alle Proben auch Röntgendiffraktogramme des Gesamtgesteins angefertigt, insbesondere um die oft äußerst feinkörnige Matrix besser erfassen zu können.

#### Paldau 1

rötlicher feinporphyrischer Latit (Einsprenglinge in dunkler, bräunlicher, ursprünglich wahrscheinlich glasiger Matrix),

Eruptivbrekzien treten auf, makroskopisch besteht große Ähnlichkeit zu Vulkaniten von Bad Gleichenberg.

• **Einsprenglinge**

**Klinopyroxen:** (Diopsid bis diopsidischer Augit, siehe Abb. 2), kann recht unterschiedliche Korngrößen aufweisen, Übergänge von idiomorphen Kristallen zu Aggregaten von runden Körnern, Verzwilligung und Zonarbau, meist starke Resorptionserscheinungen.

**Orthopyroxen:** (Hypersthen, Abb. 2), z. T. dünner Randsaum von Pigeonit (?), zumeist aber völlig zersetzt zu gelblichen Pseudomorphosen (nach Tonmineral- und Mikrosondenanalysen handelt es sich um Smectit mit hohem Nontronitanteil).

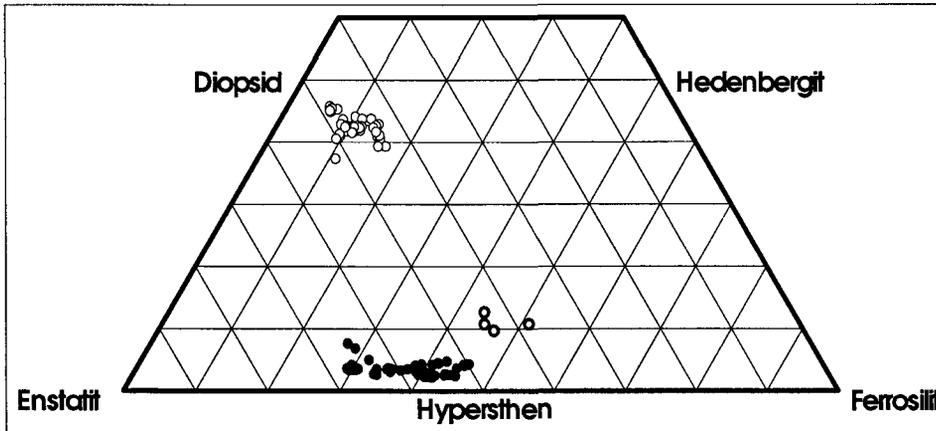


Abb. 2  
Chemismus der Pyroxene (Mikrosondenanalysen), feine offene Kreise: Klinopyroxene, volle Kreise: Orthopyroxene und Pseudomorphosen nach Orthopyroxen, starke offene Kreise: dünner, pigeonitischer Randsaum um Orthopyroxen.

**Plagioklas:** 53–70 % An (HERITSCH, 1965; PRODINGER & SCHARBERT, 1969), Zonarbau mit Rekurrenzen, polysynthetisch verzwilligt, z. T. randlich leicht korrodiert.

**Biotit:** meist nur mehr als Formrelikt erhalten.

• **Grundmasse:** äußerst feinkörnige Plagioklas- und Sanidinleisten, sphärolitische Gebilde, akzessorisch Apatit und Erz.

• **Hohlraumfüllungen** von Karbonat, faserigem Chalzedon und z. T. größerem Quarz

**Walkersdorf 1**

grauer bis bräunlicher porphyrischer Latit, häufig mehrphasig gefüllte Hohlräume.

**Einsprenglinge:**

**Plagioklas:** 50–70 % An (HERITSCH, 1965; PRODINGER & SCHARBERT, 1969), Zonarbau mit Rekurrenzen, polysynthetisch verzwilligt, zumeist recht frisch, Übergänge von Porphyroblasten zu den Plagioklasen der Grundmasse in der Korngröße.

**Pseudomorphosen:** völlig in grobkörniges Karbonat umgewandelt, idiomorphe Umrisse lassen ehemalige Pyroxene vermuten, dunkle Randsäume (ehemalige Opazitsäume).

• **Grundmasse:** Sanidin und Plagioklas (Sanidin zeigt durchwegs Karlsbader Zwilling), bereichsweise Intersertalgefüge, feinfaserige radialstrahlige Karbonataggregate, akzessorisch Magnetit, Ilmenit, Pyrit und Apatit. vielfach Durchsetzung durch feinkörniges Karbonat.

**Hohlraumfüllungen** (bis zu 3 mm) durch feinstkörniges Karbonat und feinfaserige SiO<sub>2</sub> Modifikationen, z. T. aber auch schon größerkristallinen Quarz, sowie Limonit.

**Mitterlabill 1**

In dieser Bohrung unterscheiden sich der höhere (421,7–809,8 m) und der tiefere Anteil (1425,9–1573,5 m) der Vulkanite sehr deutlich.

Im oberen Abschnitt: hellgrauer bis grauvioletter, grob- bis feinporphyrischer Latit.

• **Einsprenglinge:**

**Plagioklas:** idiomorph, 40–70 % An (HERITSCH et al., 1965), z. T. auch zonar, Karbonatisierung im Kern.

**Biotit:** idiomorphe Blättchen bis Säulen, opazitische Ränder, selten karbonatisiert.

**Amphibol:** nur selten Amphibolsubstanz erhalten, zumeist nur noch idiomorphe Pseudomorphosen (Erz, Karbonat und etwas Chlorit), opazitischem Ränder, kleine Biotite sind erhalten gebliebene ursprüngliche Einschlüsse.

**Quarz:** sehr selten, stark korrodierter Einsprenglingsquarz.

• **Grundmasse:** sehr feinkörnig, Quarz, Sanidin und Plagioklas, akzessorisch Magnetit, Ilmenit, und Apatit, feinverteiltes sekundäres Karbonat.

In tieferen Anteilen der Bohrung tritt ein heller, oft fleckiger, stark alterierter porphyrischer Dazit auf (Hydratisierung von Biotit, Kaolinisierung der Feldspäte und Karbonatbildung im gesamten Gestein).

• **Einsprenglinge:**

**Biotit:** idiomorph, tafelig bis säulig, ursprüngliche Biotitsubstanz nur sehr selten erhalten, meist völlig in Hydrobiotit mit sagenitartig, seltener auch in

Erzeinschlüssen (manchmal Karbonat umgewandelt).

**Plagioklas:** plattige idiomorphe Kristalle, 0–5 % An, selten bis 35 % (HERITSCH, 1965; HERITSCH, 1966) komplizierte Zwillingsstöcke, weitgehend stark umgewandelt, (Kaolinit, daneben auch Karbonate).

**Quarz:** gerundete und korrodierte Porphyrquarze, teilweise zerbrochen.

**Grundmasse:** äußerst feinkörnig, neben Plagioklasleisten auch Quarz und fleckig verteilte karbonatische und feinschuppige glimmerartige Umsetzungsprodukte (Kaolinit ?), akzessorisch Apatit und Magnetit.

**St. Nikolai 1**

Im höheren Anteil der Bohrung hellgrauer, im tieferen mittelgrauer porphyrischer Latit mit sehr feinkörniger Grundmasse.

• **Einsprenglinge**

**Plagioklas:** idiomorph, polysynthetisch verzwilligt und stets zonar, 40–50 % An (HERITSCH, 1979), vielfach Rekurrenzen, oft komplexe Kristallstöcke, kleine Einschlüsse von Biotit. Im oberen Anteil der Bohrung nur seltene, gegen unten stärkere Karbonatisierung an Rissen, im tiefsten Bereich zur Gänze karbonatisiert.

**Biotit:** idiomorph bis hypidiomorph, dicktafelig, oft opazitische Randsäume, manchmal verbogen und von "kinkbands" durchzogen (durch fluidal-magmatische Prozesse), beginnende Zersetzung im tieferen Bereich der Bohrung.

**Pseudomorphosen (nach Amphibol):** vollständig karbonatisiert, überwiegend idiomorphe Formrelikte, die durch opa-

zitische Ränder deutlich gegen die Grundmasse abgegrenzt sind.

**Quarz:** korrodierte Porphy Quarze, vielfach zerbrochen.

• **Grundmasse:** sehr feinkörnige Feldspatleistchen, in tieferen Bereichen zunehmende Karbonatdurchsetzung, zugleich treten gleichmäßig verteilte feinste opake Phasen auf, wodurch das Gestein dunkler gefärbt ist.

### St. Nikolai 2

grauer porphyrischer Dazit.

#### Einsprenglinge

**Plagioklas:** idiomorph bis hypidiomorph, oft unregelmäßige Aggregate, polysynthetisch bis komplex verzwilligt, Zonarbau mit Rekurrenzen, beginnende leichte Karbonatdurchsetzung, im tieferen Abschnitten stärker zu netzartigem Gerippe zersetzt, in am stärksten alterierten Typen vollständige Umwandlung in feinschuppige, hellglimmerartige Minerale (Kaolinit ?)

**Biotit:** idiomorphe Blättchen bis dicke Glimmerpakete, verbreitet Hinweise auf fluidal-magmatische Deformation, bei stärkerer Alteration Ausscheidung winziger opaker Körnchen, sowie lamellenweise Karbonatisierung.

**Pseudomorphosen (nach Biotit):** Hydrobiotit: in am intensivsten alterierten, kreidigen Bereichen durch vollständige Umwandlung des Biotits, winzige Füllungsmikrolithe (zumeist nicht opak, aber optisch nicht näher bestimmbar) zeichnen Parallelgefüge mit Knickfältelungen nach (durch Volumendifferenz bei Umwandlung ?).

**Pseudomorphosen (nach Amphibol):** idiomorph, kurzsäulig bis prismatisch, opazitische Ränder, z. T. Amphibolspaltbarkeit angedeutet, bestehen aus feinschuppigen farblosen Schichtsilikaten (Serizit, Kaolinit ?) und Karbonat, in stärker umgewandelten Abschnitten vor allem aus Chlorit.

**Quarz:** typischer korrodierter Porphy Quarz.

• **Grundmasse:** äußerst feinkörnig, Durchsetzung durch feinkörniges, oft fleckig angereichertes Karbonat, in den am stärksten umgewandelten Abschnitten durch Chlorit.

### Wiersdorf 1

grünlichgrauer, porphyrischer Quarzlatit.

#### Einsprenglinge

**Plagioklas:** leisten- und plattenförmig, idiomorph, z. T. Kristallstöcke, verzwilligt, Zonarbau, 40 – >50 % An (HERITSCH, 1979), häufig Rekurrenzen, bereichsweise Rekristallisation zu feinkörnigem Material, das von der Grundmasse nicht zu unterscheiden ist.

**Biotit:** idiomorph, dicke Platten, an Kanten meist gerundet, opazitische Ränder.

**Quarz:** typischer Porphy Quarz mit Korrosionsschläuchen.

**Pseudomorphosen (nach Amphibol):** kurzprismatisch, stengelig bis nadelig, Karbonat und etwas Chlorit, opazitische Ränder, gelegentlich Amphibolspaltbarkeit erkennbar.

• **Grundmasse:** äußerst feinkörnig, größtenteils optisch nicht auflösbar, Plagioklasleisten in Fluidaltextur, röntgenographisch Plagioklas, Sanidin, Quarz und Karbonate nachgewiesen.

In extrem stark alterierten Abschnitten besteht fast das gesamte Gestein aus Siderit (Wiersdorf 1 1424–1429 m), nur noch Biotit bleibt relativ gut erhalten.

## 4. Geochemie

Analysiert wurden 43 Proben aus den Bohrungen Bad Gleichenberg StW2, Mitterlabill 1, Walkersdorf 1, Paldau 1, St. Nikolai 1, St. Nikolai 2 und Wiersdorf 1 auf Haupt- und Spurenelemente sowie SE-Elemente (Analysenwerte siehe

Tabelle 1 und Tabelle 2a, b, die meisten Daten von Bad Gleichenberg finden sich in HRADECKÝ et al., 1999). Die Analytik erfolgte mittels RFA und ICP-MS am Geotechnischen Institut des BFPZ Arsenal. Die Seltenen Erden einiger Proben von Bad Gleichenberg wurden am ČGÚ Prag mittels ICP-AES analysiert.

Um eine möglichst breite Datenbasis zu haben, wurden auch Analysenwerte aus der Literatur in die Auswertung miteinbezogen (BALOGH et al., 1994; HAUSER, 1951; HAUSER & KAPOUNEK, 1953; HAUSER & KOLLMANN, 1954; HARANGI et al., 1995; HERITSCH, 1963; HERITSCH, 1966a, 1966b, 1966c; HERITSCH, 1967a, 1967b, 1967c; HERITSCH, 1975; HERITSCH, 1979; HERITSCH, 1982; HERITSCH et al., 1965; MACHATSCHKI, 1927; MARCHET, 1931; PRODINGER & SCHARBERT, 1968; PRODINGER & SCHARBERT, 1969), sodaß insgesamt ca. 100 Analysen für die Interpretation zur Verfügung standen.

In allen hier bearbeiteten Gesteinen haben in unterschiedlichem Ausmaß Mineralumwandlungen bzw. Neubildungen stattgefunden. Um diesen Einfluß auf die Charakterisierung der Gesteine zu minimieren, wurden für die folgenden Diagramme alle Analysen auf H<sub>2</sub>O- und CO<sub>2</sub>-freier Basis neu berechnet. Für die Klassifikation der Gesteine durch die Hauptelemente wurden nur Proben mit H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> < 5 % herangezogen.

Es lassen sich anhand des Verhältnisses Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> zwei Gruppen unterscheiden (Abb. 3). Einerseits sind es SiO<sub>2</sub>-gesättigte Gesteine mit überwiegend trachyandesitische Zusammensetzung von Bad Gleichenberg, und Paldau, sowie Walkersdorf (nur alterierte Proben), die aufgrund des Wertes  $K > Na - 2$  als Latite einzustufen sind (LE BAS et al., 1992). Die zweite Gruppe bilden SiO<sub>2</sub>-übersättigte Gesteine mit dazitischem Chemismus von Mitterlabill, St. Nikolai und Wiersdorf, die als Dazite bis Latite klassifiziert werden. Die wenigen Analysen von Wundschuh – Weiten-dorf und Retznei ergeben unterschiedliche Ergebnisse, fallen aber grundsätzlich in dieselben Bereiche. Die geochemische Einstufung nach dem Alkalien/SiO<sub>2</sub>-Verhältnis stimmt somit sehr gut mit der Einstufung nach dem modalen Mineralbestand überein.

Betrachtet man die SiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O-Verhältnisse (Abb. 4), so ergibt sich ebenfalls eine Trennung in zwei Gruppen: einerseits intermediäre, überwiegend aber saure mittel- bis hoch-Kalium Gesteine von Mitterlabill und St. Nikolai, andererseits basische bis saure, überwiegend aber intermediäre Gesteine von Paldau und Bad Gleichenberg, die aufgrund des erhöhten K-Gehalts größtenteils als shoshonitisch einzustufen sind.

Zu einem im Prinzip ähnlichen, wenn auch etwas uneinheitlicheren Bild kommt man bei der Hinzuziehung von wenig mobilen Spurenelementen zur Klassifizierung (WINCHESTER & FLOYD, 1977). Im Diagramm SiO<sub>2</sub> – Zr/TiO<sub>2</sub> (Abb. 6a) streuen die Probenpunkte zumeist über die Felder mehrerer Gesteinstypen (Bad Gleichenberg: Trachyandesite, Andesite bis Dazite, Paldau: Trachyandesite bis Andesite, Mitterlabill: Trachyte bis Dazite, Paldau: Dazite), wobei für Bad Gleichenberg ein starkes Streuen des SiO<sub>2</sub>-Gehaltes bei relativ einheitlichem Zr/TiO<sub>2</sub> auffällt, während sich die Gesteine von Mitterlabill genau entgegengesetzt verhalten. Beschränkt man sich auf weitgehend immobile Elemente (Diagramm Zr/TiO<sub>2</sub> – Nb/Y, WINCHESTER & FLOYD, 1977), so plotten sämtliche Analysen ins Feld der Trachyandesite (Abb. 6b).

Im AFM-Diagramm zur Unterscheidung von tholeiitischen und kalkalkalischen Magmen (IRVINE & BARARGAR, 1971) fallen sämtliche Proben in das kalkalkalische Feld. Nach Spurenelementgehalten (Ta/Yb – Ce/Yb – Verhältnisse und Ta/Yb – Th/Yb – Verhältnisse (PEARCE, 1982) sind die Gesteine als shoshonitisch einzustufen (Abb. 5a, 5b).

Tab. 1  
Hauptelementanalysen von miozänen Vulkaniten des Steirischen Beckens.

Probe Nr.		SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	CO <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> %	GV %	Total %
<b>Mitterlabill 1</b>															
MIL 1	421,7–422,0	61,90	0,70	16,10	4,93	0,07	1,97	4,67	3,82	2,90	0,24	1,39	1,52	3,07	100,37
MIL 1	540,3–540,5	61,90	0,70	15,90	4,80	0,07	3,06	4,46	4,09	2,83	0,23	1,19	1,57	2,48	100,52
MIL 1	611,2–611,5	61,10	0,60	15,10	4,08	0,19	2,15	5,73	3,76	2,69	0,25	3,11	1,04	4,10	99,75
MIL 1	809,6–809,8	62,00	0,70	16,30	4,89	0,09	1,49	3,48	3,86	2,79	0,28	2,54	1,48	3,85	99,73
MIL 1	1425,9–1426,1	58,40	0,60	17,50	3,84	0,08	1,67	4,35	3,50	2,75	0,23	5,78	2,03	7,88	100,80
MIL 1	1573,3–1573,5	59,50	0,50	16,20	3,89	0,06	1,58	4,42	3,42	2,08	0,18	6,35	2,52	8,85	100,68
<b>Walkersdorf 1</b>															
WALK 1	1129,2–1129,5	56,20	1,00	14,50	4,98	0,08	2,15	6,61	2,92	4,15	0,70	4,29	0,84	6,98	100,27
WALK 1	1053,2–1053,7	55,90	1,00	14,60	6,07	0,10	2,08	5,90	2,85	4,42	0,72	5,71	0,66	6,53	100,17
<b>Paldau 1</b>															
PAL 1	1276,2	56,50	1,00	15,90	5,70	0,08	3,65	6,19	3,72	3,42	0,62	0,65	2,15	3,52	100,30
<b>St. Nikolai 1</b>															
St. Niko 1	402,5–402,9	63,10	0,60	16,70	3,48	0,05	1,69	3,89	4,17	3,38	0,19	1,71	1,13	3,26	100,51
St. Niko 1	702,5–702,7	59,60	0,60	16,30	3,98	0,17	2,42	4,42	2,90	2,56	0,17	2,30	4,26	7,57	100,69
St. Niko 1	1065,0–1065,2	64,40	0,60	16,40	3,68	0,07	1,68	3,33	3,89	3,41	0,20	1,21	1,45	3,01	100,67
<b>St. Nikolai 2</b>															
St. Niko 2	951,8–952,0	64,00	0,50	17,10	3,81	0,06	1,83	3,33	3,19	2,90	0,20	1,45	2,13	3,72	100,64
St. Niko 2	953,5–953,6 fr	62,80	0,50	19,20	5,26	0,04	1,82	1,44	0,66	3,49	0,16	1,03	4,24	5,29	100,66
St. Niko 2	953,5–953,6 alt	66,00	0,60	21,10	1,64	0,03	0,76	1,24	0,58	3,46	0,16	0,89	4,08	5,38	100,95
St. Niko 2	673,3–673,5	61,30	0,70	16,60	4,28	0,07	2,31	4,23	3,49	3,01	0,23	2,11	2,22	4,39	100,61
<b>Wiersdorf 1</b>															
Wiers 1	1152,1–1152,3	61,00	0,70	17,50	3,77	0,07	1,86	3,40	4,05	2,83	0,22	2,58	2,90	5,42	100,82
Wiers 1	1682,4–1682,6	56,40	0,70	17,10	5,14	0,07	6,28	2,73	2,33	2,84	0,22	3,21	3,67	6,86	100,67
<b>Bad Gleichenberg StW2</b>															
STW2	718,6–718,8	58,10	1,10	17,10	4,87		1,13	4,40	2,93	5,38	0,72		4,76		100,49
STW2	854,5–854,8	54,10	1,00	15,10	6,28		2,76	5,54	2,68	4,45	0,59		7,64		100,14

Tab. 2a

Spurenelementanalysen von miozänen Vulkaniten des Steirischen Beckens

Probe Nr.	Li ppm	Be ppm	F ppm	S ppm	Cl ppm	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Ga ppm	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Sb ppm	
Mitterlabill 1																				
MIL 1	421,7–422,0	34	2,3	1090	<100	180	116	16	7,4	7	9	65	19	93	570		210	12	0,2	
MIL 1	540,3–540,5	38	2,5	970	<100	190	11	105	14	7,1	9	8	71	19	95	560	21	210	18	0,3
MIL 1	611,2–611,5	32	2,5	710	<100	210		104	10	7,0	5	7	57	18	89	570		210	17	0,2
MIL 1	809,6–809,8	30	2,9	990	<100	240		106	19	5,2	4	6	61	19	96	510		210	19	0,2
MIL 1	1425,9–1426,1	34	2,7	<150	<100	240	8	78	26	5,6	8	3	71	17	93	470	18	190	12	0,2
MIL 1	1573,3–1573,5	29	2,7	250	380	470	7	71	30	4,9	4	4	38	17	67	440	17	180	16	0,1
Walkersdorf 1																				
WALK 1	1129,2–1129,5	19	5,0	1370	1650	320	25	196	76	48,0	74	26	55	17	232	490	22	270	21	0,5
WALK 1	1053,2–1053,7	21	5,8	1950	<100	420		157	51	16,2	18	13	73	18	290	450		250	22	0,3
Paldau 1																				
PAL 1	1276,2	22	4,6	1720	<100	220	19	161	60	16,0	21	25	67	18	172	630	23	280	26	0,2
St. Nikolai 1																				
St. Niko 1	402,5–402,9	27	3,0	380	<100	190		84	41	3,6	7	5	51	19	103	570		190	19	0,3
St. Niko 1	702,5–702,7	23	3,0	520	<100	280		78	38	4,4	5	4	70	18	83	490		180	17	0,3
St. Niko 1	1065,0–1065,2	17	2,9	180	<100	360	7	70	19	4,1	3	7	52	19	110	460	16	180	20	0,2
St. Nikolai 2																				
St. Niko 2	951,8–952,0	24	3,0	<150	<100	700		61	22	3,5	2	2	46	18	97	490		180	18	0,1
St. Niko 2	953,5–953,6 fr	22	3,8	280	<100	610		60	22	8,0	7	1	61	23	96	340		170	18	0,6
St. Niko 2	953,5–953,6 alt	17	3,8	<150	<100	550		66	19	0,7	7	2	11	19	83	380		220	25	1,5
St. Niko 2	673,3–673,5	24	2,7	960	<100	230	11	97	10	8,1	6	9	65	19	100	520	18	210	19	0,2
Wiersdorf 1																				
Wiers 1	1152,1–1152,3	13	2,7	<150	<100	560	12	130	28	7,4	6	15	46	19	75	230	16	180	12	0,9
Wiers 1	1682,4–1682,6	44	2,5	780	<100	220	14	115	118	14,3	55	25	65	18	89	200	18	180	23	0,5
Bad Gleichenberg StW 2																				
STW2	231,2–231,4	23	9,0	0,92			12	102	73	12	22	14		258	420	19	304	21		
STW2	408,3–408,5	12	8,4	0,12	0,02		20	136	68	30	13	44		263	760	18	244	18		
STW2	527,4–527,6	12	6,7	0,12	0,01		23	149	141	22	35	24		176	500	14	213	17		
STW2	656,9–657,3	12	8,3	0,08	0,01		18	138	39	14	<5	17		235	420	18	266	17		
STW2	705,7–706,0	23	7,4	0,08	0,01		18	133	42	15	5	16		192	420	20	266	18		
STW2	718,6–718,8		7,7				17	152	36	11	5	14		216	440	21	287	22		
STW2	762,5–762,7		7,2	0,11	0,01		17	151	38	19	8	14		218	420	19	257	23		
STW2	854,5–854,8		7,1				18	148	56	17	22	16		239	440	16	249	20		
STW2	900,4–900,5		6,0	0,10	0,01		11	105	26	13	<5	15		206	340	19	306	24		

Tab. 2b  
 Spurenelementanalysen von miozänen Vulkaniten des Steirischen Beckens

Probe Nr.	B	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Tl	Pb	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Mitterlabill 1																					
MIL 1	421,7-422,0	1081																0,51	31		5,3
MIL 1	540,3-540,5	1079	76	8,4	31	5,8	1,4	0,8	0,8	4,3	0,8	2,3	2,2	0,32	2,6	3		0,61	38	19	5,8
MIL 1	611,2-611,5	1051																0,46	32		6,4
MIL 1	809,6-809,8	1120																0,59	37		2,8
MIL 1	1425,9-1426,1	1011	72	7,8	28	5,0	1,2	0,7	0,7	3,6	0,7	2,1	1,9	0,27	1,7	2	<5	0,75	37	19	4,1
MIL 1	1573,3-1573,5	761	71	7,7	27	4,8	1,1	0,7	0,7	3,3	0,7	1,8	1,7	0,25	1,7	2	<5	0,50	20	18	9,0
Walkersdorf 1																					
WALK 1	1129,2-1129,5	941	56	6,9	28	5,9	1,4	0,9	0,9	4,5	0,9	2,6	2,4	0,38	8,0	2	<5	1,87	30	25	29,0
WALK 1	1053,2-1053,7	990																1,90	21		4,2
Palbau 1																					
PAL 1	1276,2	1415	65	7,9	32	6,5	1,7	1,0	1,0	4,8	0,9	2,7	2,6	0,38	8,6	2		2,21	23	22	7,6
St. Nikolai 1																					
St. Niko 1	402,5-402,9	1151																0,59	40		5,8
St. Niko 1	702,5-702,7	953																0,47	40		7,7
St. Niko 1	1065,0-1065,2	1142	73	7,8	28	5,1	1,3	0,7	0,7	3,4	0,7	1,9	1,8	0,26	2,2	3		0,78	32	20	7,9
St. Nikolai 2																					
St. Niko 2	951,8-952,0	1294																0,66	42		
St. Niko 2	953,5-953,6 fr	1071																0,49	8		
St. Niko 2	953,5-953,6 alt	625																0,41	6		
St. Niko 2	673,3-673,5	1104	76	8,1	29	5,3	1,3	0,7	0,7	3,8	0,8	2,1	2,1	0,30	2,9	2		0,67	35	21	6,3
Wiersdorf 1																					
Wiers 1	1152,1-1152,3	955	37	69	28	4,8	1,2	0,7	0,7	3,4	0,7	1,8	1,9	0,27	2,2	2		0,59	40	18	6,2
Wiers 1	1682,4-1682,6	562	37	68	27	5,3	1,2	0,8	0,8	3,6	0,7	2,0	1,9	0,26	2,5	2		0,76	24	17	5,6
Bad Gleichenberg SW2																					
STW2	138,8-139,0		33,1	65,0	7,5	26,5	1,1	4,5	1,1	3,3	<0,6	2,3	2,1	0,3							
STW2	231,2-231,4	1000	33,0	63,0	7,3	28,0	1,3	5,6	0,7	3,7	0,7	2,0	2,0	0,3							
STW2	232,5-232,7		42,4	80,6	8,1	35,8	1,4	5,6	<0,9	3,7	0,7	2,8	2,8	0,4							
STW2	354,6-354,8		26,4	57,5	5,3	28,0	1,3	4,6	<0,9	3,4	0,6	2,4	2,3	0,3							
STW2	408,3-408,5	800	29,0	61,0	7,3	31,0	1,5	5,4	0,9	4,1	0,9	2,4	2,3	0,4							
STW2	450,3-450,5		28,0	58,0	5,0	27,1	1,2	5,4	<0,9	3,8	0,8	2,4	2,5	0,3							
STW2	527,4-527,6	900	28,2	60,2	6,5	26,7	1,5	5,3	0,9	3,7	0,75	2,5	2,5	0,3							
STW2	656,9-657,3	900	29,4	62,7	7,7	33,1	1,5	5,6	1,0	4,1	0,8	2,3	2,7	0,3							
STW2	705,7-706,0	900	29,0	63,3	7,6	30,5	1,6	5,6	1,0	4,1	0,7	2,5	2,7	0,4							
STW2	718,6-718,8	1200	31,0	67,0	8,3	34,0	1,9	5,1	1,0	5,1	1,0	2,9	2,7	0,4							
STW2	751,6-751,8		30,3	65,6	8,7	33,5	1,7	6,1	<0,9	4,5	0,9	2,6	2,7	0,3							
STW2	762,5-762,7	900	30,0	62,0	7,8	32,0	1,7	6,1	1,0	4,9	1,0	2,8	2,7	0,4							
STW2	815,4-815,6		27,7	57,6	6,6	28,4	1,4	5,5	<0,9	3,6	0,7	2,4	2,4	0,3							
STW2	854,5-854,8	1100	29,0	60,0	7,2	29,0	1,5	5,2	0,9	4,4	0,9	2,5	2,3	0,4							
STW2	900,4-900,5	1160	31,6	63,5	6,6	27,4	1,2	5,2	0,8	3,6	0,8	2,1	2,3	0,3							

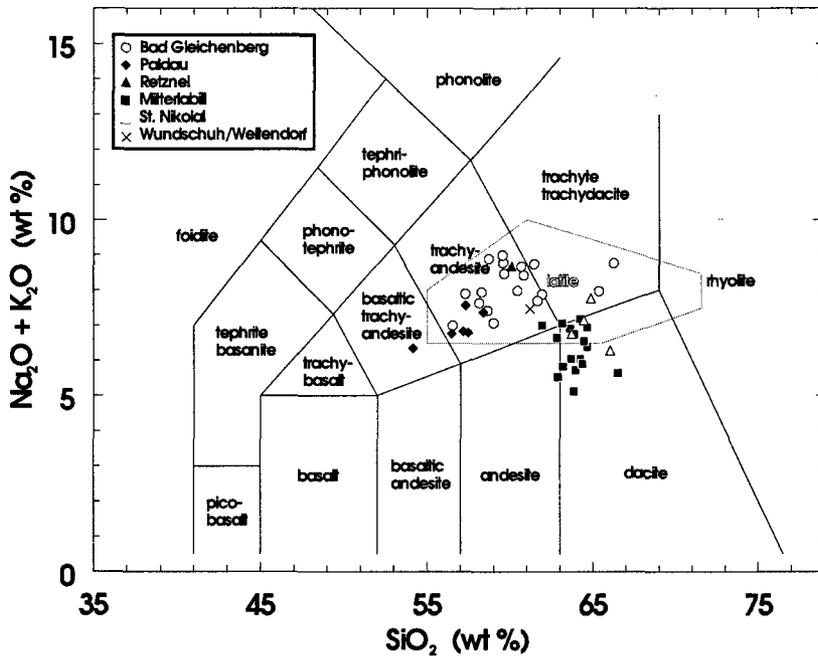


Abb. 3  
Klassifizierung der Vulkanite nach LE BAS et al. 1992, dort auch Angaben zu den oft beträchtlichen Überlappungsbereichen der einzelnen Felder.

Die  $\text{SiO}_2$  - Werte liegen zwischen 56 % und 64 %. Alle Gesteine weisen Gehalte von  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ , sowie relativ geringe Fe- und sehr geringe Mg-Gehalte (0,7 bis 3,7 % für wenig alterierte Gesteine) auf. Die Korrelation einzelner Elemente mit dem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt (Harker-Diagramme, Abb. 7 und Abb. 4) weist für alle Elemente ein beträchtliches Streuen auf. Erkennbare Trends zeigen sich lediglich bei MgO und CaO, undeutlich auch bei  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (gesamtes Fe als  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berechnet). Eine solche negative Korrelation mit  $\text{SiO}_2$  könnte auf eine Fraktionierung von Pyroxen (ev. auch Olivin) und Plagioklas im Magma hinweisen. Betrachtet man jedoch die Projektionspunkte für die einzelnen Lokalitäten getrennt, so ergeben sich auch hier eher unregelmäßige Punktwolken. Faßt man jeweils die beiden oben genannten, nach  $\text{SiO}_2$ -Sättigung und  $\text{K}_2\text{O}$ -Gehalt unterscheidbaren Gruppen zusammen, ergeben sich eventuell auch zwei undeutliche, etwa parallel zueinander verlaufende Trends (z. B. für  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MgO und Sr). Keinerlei Trends sind für  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , ZrO etc. zu erkennen, was gegen eine Fraktionierung akzessorischer Schwerminerale spricht. Es läßt sich somit aus dem Hauptelementchemismus kein Fraktionierungstrend im Sinne einer zusammenhängenden magmatischen Entwicklung erkennen.

Besonders die Verteilung der  $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ -Verhältnisse (Abb. 4) macht deutlich, daß hier zwei Gruppen vorliegen die möglicherweise genetisch unterscheidbarer sind.

Bei der Auswertung der Spurenelemente wurden auch alterierte Proben mitberücksichtigt, da es sich zeigte, daß auch bei

sehr starker Alteration geochemische Trends und Elementverteilungsmuster der Spurenelemente erhalten bleiben. Die Gehalte an mantelkompatiblen Spurenelementen (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn) sind insgesamt relativ gering, es weisen aber die Proben von Bad Gleichenberg, Paldau und Walkersdorf im Vergleich zu den übrigen Proben deutlich höhere Werte auf. Dies entspricht wiederum der oben erwähnten Unterteilung in zwei Gruppen. Lediglich die Proben von Wiersdorf weisen ebenfalls etwas höhere Werte auf. Das Verhalten der mantelinkompatiblen Elemente läßt sich anhand des gegen primitiven Mantel normalisierten Elementverteilungsdiagramms (Abb. 8) zeigen. Die LILE ("large-ion lithophile elements", K, Rb, Sr, Cs, Ba) weisen eine deutliche Anreicherung auf, die für Ba vergleichsweise etwas weniger markant ausgebildet ist. Die HFSE ("high-field-strength elements", Ti, Y, Zr, Nb, Hf, Ta) sind weniger stark angereichert. Auch bei den inkompatiblen Spurenelementen unterscheiden sich die beiden Gruppen von Vulkaniten deutlich. Die Gesteine von Bad Gleichenberg, Paldau und Walkersdorf weisen sowohl bei den LILE und HFSE höhere Gehalte

auf als jene von Mitterlabill St. Nikolai und Wiersdorf, bei La und den leichten SEE ist es umgekehrt. Im Elementverteilungsdiagramm ergeben sich dadurch zwei etwa parallel zueinander verlaufende Trends, wesentliche Abweichungen bilden nur die Minima für Rb und P in Mitterlabill, St. Nikolai und Wiersdorf, sowie ein Minimum für Sr in Wiersdorf, eine deutlich erhöhte Anreicherung zeigt hingegen Hf in den Proben von Bad Gleichenberg, Paldau und Walkersdorf. Die Pb-Gehalte sind in allen Proben im Bereich kontinentaler

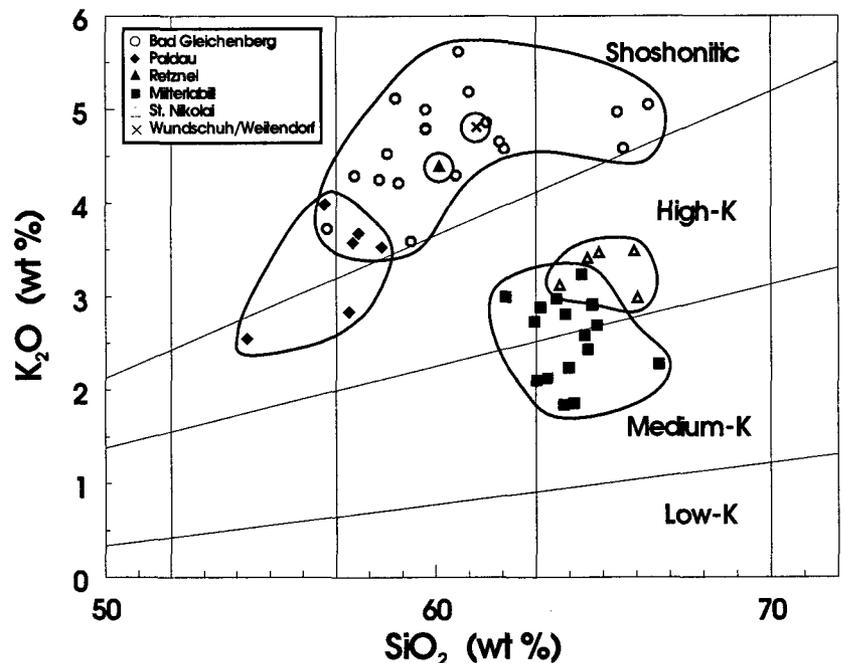


Abb. 4  
 $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  - Diagramm (PECCERILLO & TAYLOR, 1976), modifiziert nach GILL, 1981.

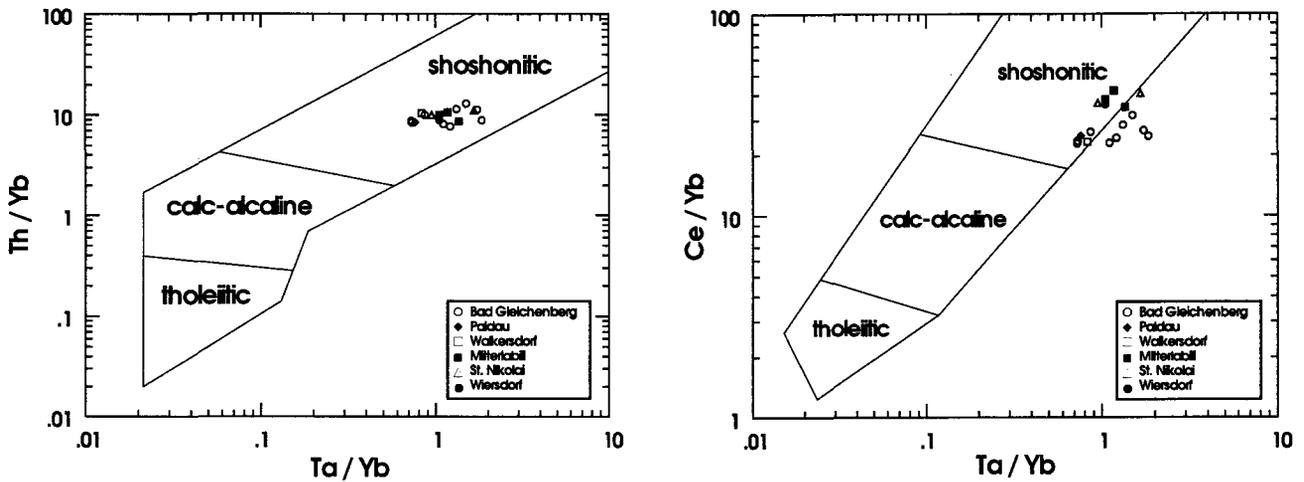
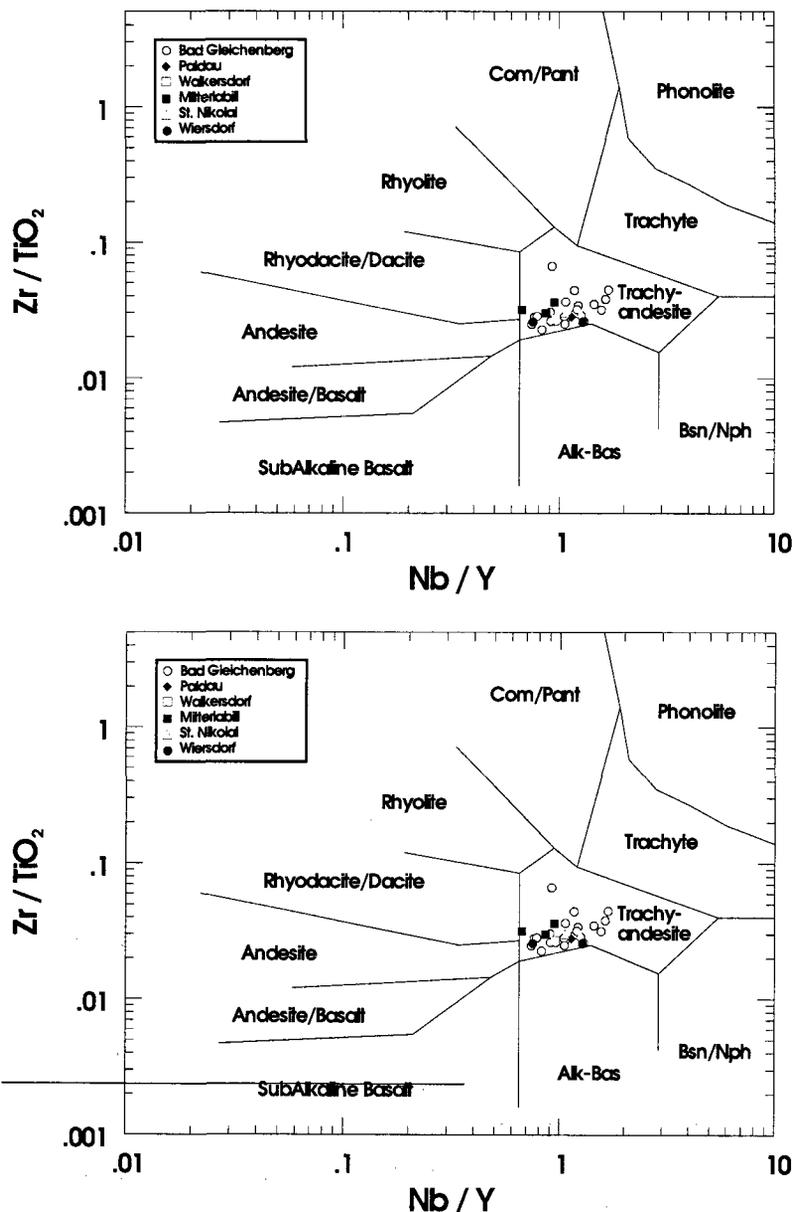


Abb. 5a, b  
Klassifizierung der Vulkanite nach Spurenelementen (PEARCE, 1982), modifiziert nach MÜLLER et al., 1992.



Werte. Insgesamt weisen die inkompatiblen Spurenelemente auf einen sehr bedeutenden Einfluß von kontinentalem Krustenmaterial hin.

Die Seltenen Erden (SEE) zeigen eine starke Anreicherung der leichten SEE, die schweren SEE liegen etwa im Bereich eines MORB (Abb. 9). Eine nur schwach ausgeprägte (normalisiertes  $Eu >$  normalisiertes  $Tb$ ) negative  $Eu$ -Anomalie weist auf Plagioklasfraktionierung oder Beteiligung von Krustenmaterial hin. Auch bei den SEE können die beiden Gesteinsgruppen unterschieden werden. Die Gesteine von Bad Gleichenberg, Paldau und Walkersdorf weisen eine relative Abreicherung der leichten und eine relative Anreicherung der schweren SEE ( $La/Yb \sim 12$ ), und somit einen geochemisch etwas primitiveren Charakter gegenüber der Gruppe von Mitterlabill, St. Nikolai und Wiersdorf ( $La/Yb \sim 20$ ) auf.

Der primitivere Trend entspricht etwa einem MORB. Die Anreicherung der leichten und die Verarmung der schweren SEE entspricht einem höher entwickeltem Magma mit Intraplattencharakter (ozeanische Inselbasalte, SUN & McDONOUGH, 1989) oder Andesite in kontinentalen Riftzonen (SCHLAEGEL-BLAUT, 1990, S. 94). Ähnliche Verhältnisse zwischen leichten und schweren SEE können auch in kontinental beeinflussten Sedimenten auftreten (TAYLOR & MCLENNAN, 1985), allerdings mit einer deutlich stärker ausgeprägten  $Eu$ -Anomalie.

Abb. 6a, b  
Klassifizierung der Vulkanite nach Spurenelementen (WINCHESTER & FLOYD, 1977).

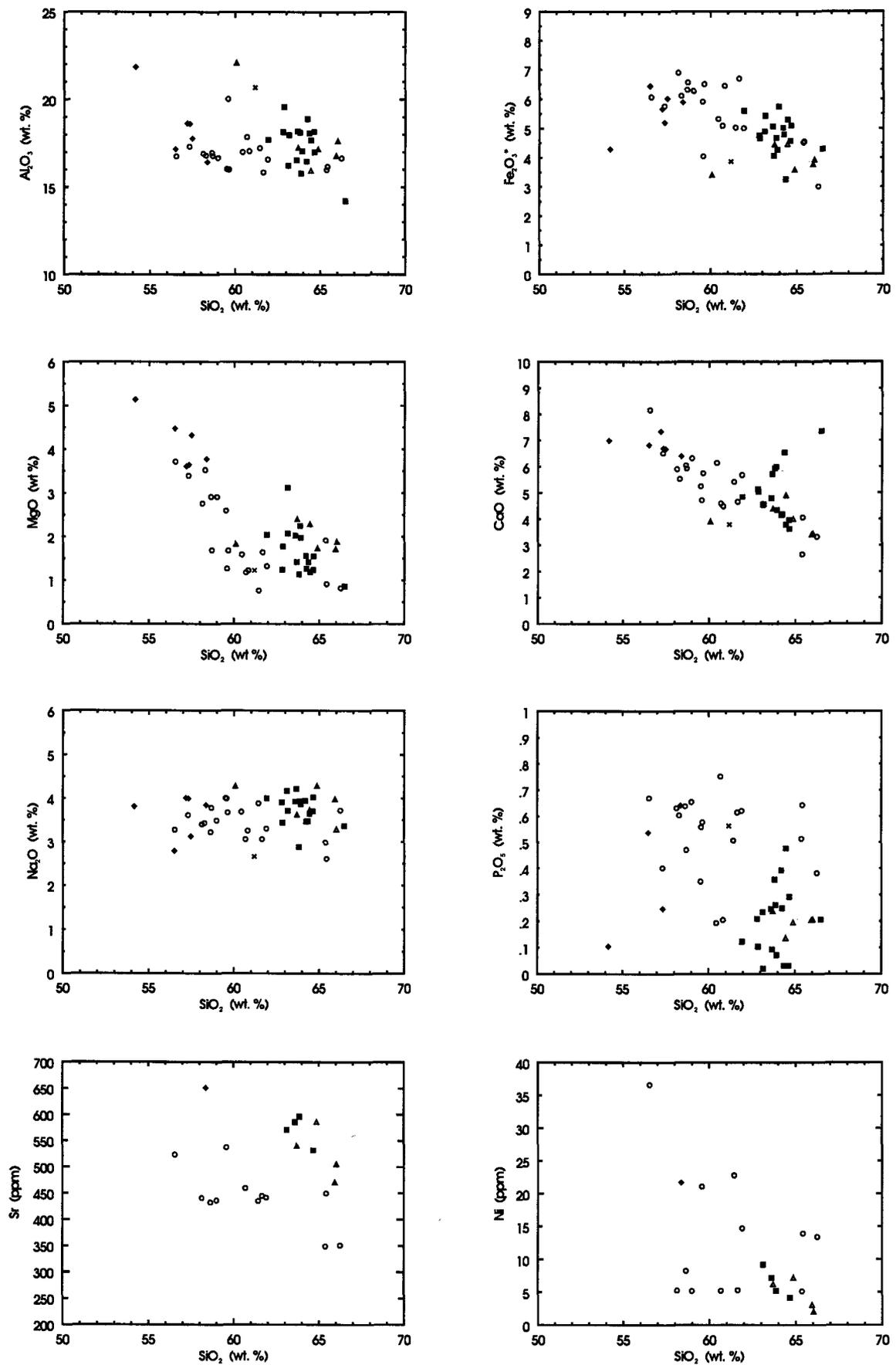


Abb. 7  
 Harker-Diagramme für ausgewählte Haupt- und Spurenelemente (es wurden nur Analysen mit H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub> < 5% berücksichtigt), das gesamte Fe ist als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berechnet. Legende wie Abb. 5 und Abb. 6.

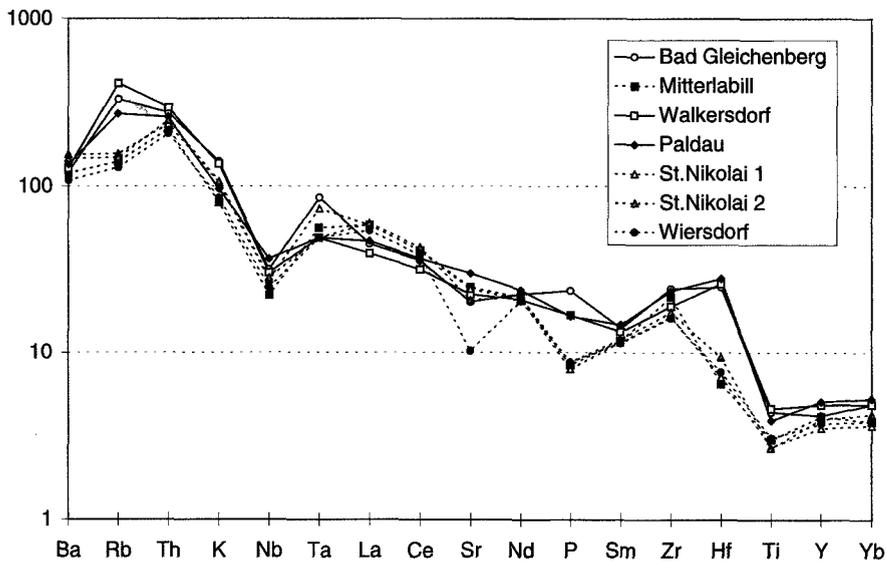


Abb. 8  
Gegen primitiven Mantel normalisiertes Elementverteilungsdiagramm für die inkompatiblen Elemente (Anordnung der Elemente nach THOMPSON et al., 1984, leicht modifiziert, Werte für primitiven Mantel nach SUN & McDONOUGH, 1989).

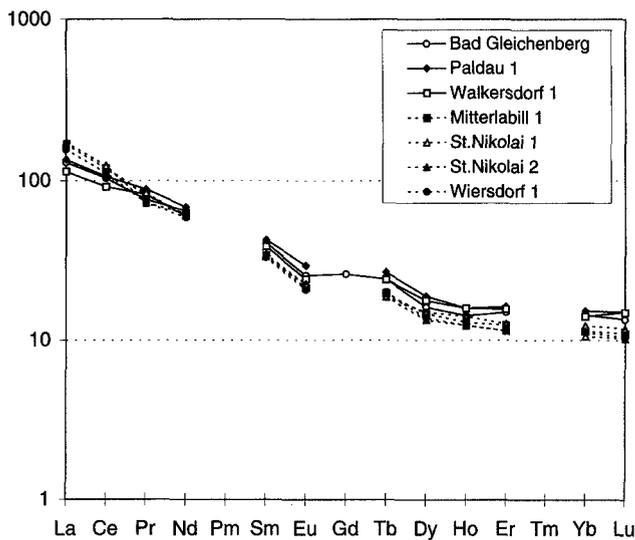


Abb. 9  
Gegen Chondrit normalisierte Verteilung der Seltenen Erden (Werte für Chondrit nach SUN & McDONOUGH, 1989).

## 5. Geotektonische Einstufung anhand von Diskriminierungsdiagrammen

Zur geotektonischen Klassifizierung kaliumreicher Gesteine sind die klassischen, für Basalte entwickelten Diskriminierungsdiagramme (z. B.  $Ti - Zr$ ,  $Ti/100 - Zr - Yx3$ ,  $Ti/100 - Zr - Sr/2$ , PEARCE & CANN, 1973;  $Zr/Y - Zr$ , PEARCE & NORRY, 1979;  $Hf/3 - Th - Ta$ ; WOOD et al., 1979;  $Zr/4 - Nb \times 2 - Y$ ; MESCHÉDE, 1986) ungeeignet, da die Projektionspunkte diese Gesteine häufig außerhalb der definierten Felder liegen oder in augenscheinlich falsche Felder plotten (MÜLLER et al., 1992). Dies trifft auch auf die hier behandelten Gesteine zu.

Ein von MÜLLER et al., 1992 zur Klassifizierung kaliumreicher Vulkanite gemäß ihrer geotektonischen Stellung vorge-

schlagenes schrittweises Verfahren benutzt jeweils optimale Elementkombinationen auf Grundlage einer multiplen Diskriminanzanalyse einer breiten Datenbasis K-reicher Gesteine. Dieses Verfahren basiert soweit als möglich auf Elementverhältnissen immobiler Elemente, wodurch Konzentrationsverschiebungen durch Verwitterung und/oder hydrothermale Alteration minimiert werden.

Die Geochemie sowohl der Haupt- wie auch der Spurenelemente ergibt deutlich den mittel- bis hoch-K bzw. shoshonitischen Charakters der miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens, was eine Anwendung des Diskriminierungsverfahrens nach MÜLLER et al., 1992 für diese Gesteine zulässig erscheinen läßt. Es darf dabei allerdings nicht unerwähnt bleiben, daß nur eine relativ kleine Anzahl der Proben sämtliche der von MÜLLER et al., 1992 genannten Kriterien

erfüllt. Die Abbildungen 10 a–d und 11 machen die Abfolge der einzelnen Schritte im Diskriminierungsverfahren deutlich.

Initial Oceanic-Arc Position (IOP), "Late Oceanic - Arc Position" (LOP): Initial- und Spätstadium eines ozeanischen Inselbogens.

"Continental Arc Position" (CAP): Subduktion unter einen Kontinentalrand, wird meist durch flache Subduktionswinkel und eine breite Benioff Zone gekennzeichnet. Die Art sowie die Verteilung der magmatischen Aktivität in der Oberplatte ist von der Konvergenzrate, dem Alter der subduzierten Lithosphäre sowie deren Aufbau abhängig.

"Postcollisional Arc Position" (PAP): die Subduktion ist nach Kontinentalkollision abgeschlossen, an der Suturzone kommt es zur Krustenverdickung und tektonischen Aufstieg verbunden mit einem komplexen magmatischen Geschehen.

"Within-plate Position" (WIP): Intraplattenposition, hat keine Verbindung zu irgendeiner Form von Subduktion, sondern steht in Beziehung zu Riftbildung, oder zur Aktivität von hot spots, Intraplattenmagmen entstehen im allgemeinen in größere Tiefe als subduktionsbezogene Magmen.

Mittels des Diagramms  $TiO_2/Al_2O_3 - Zr/Al_2O_3$ , wo der Gehalt der krustenaffinen Elemente Zr und in geringerem Maße auch Ti im Vergleich zum relativ immobilen Al eingeht, lassen sich die Vulkanite des Steirischen Beckens als "postcollisional arc" oder "continental arc" klassifizieren. Eine WIP Position kann durch die zusätzlichen Diagramme  $Al_2O_3 - TiO_2$  und  $Zr - Y$  ausgeschlossen werden. Die weitere Aufgliederung ist nicht mehr so eindeutig. Im Diagramm  $Zr/TiO_2 - Ce/P_2O_5$  liegen alle Gesteine im CAP-Feld ("continental arc"). Hier spiegelt sich auch die aus der Haupt- und Spurenelementchemie erkennbare Aufgliederung in zwei Gruppen wider, wobei die Gesteine von Mitterlabill, St. Nikolai und Wiersdorf vor allem aufgrund ihres geringeren  $P_2O_5$ -Gehaltes weiter im "continental arc" Feld liegen als die Gesteine der Gruppe Bad Gleichenberg, Paldau und Walkersdorf, die mehr zum "postcollisional arc" Feld tendieren. In der ternären Darstellung  $Nbx50 - Zrx3 - Ce/P_2O_5$  (Abb. 11) plottet die erste Gruppe ins "continental arc" Feld, die zweite zur Gänze ins "postcollisional arc" Feld.

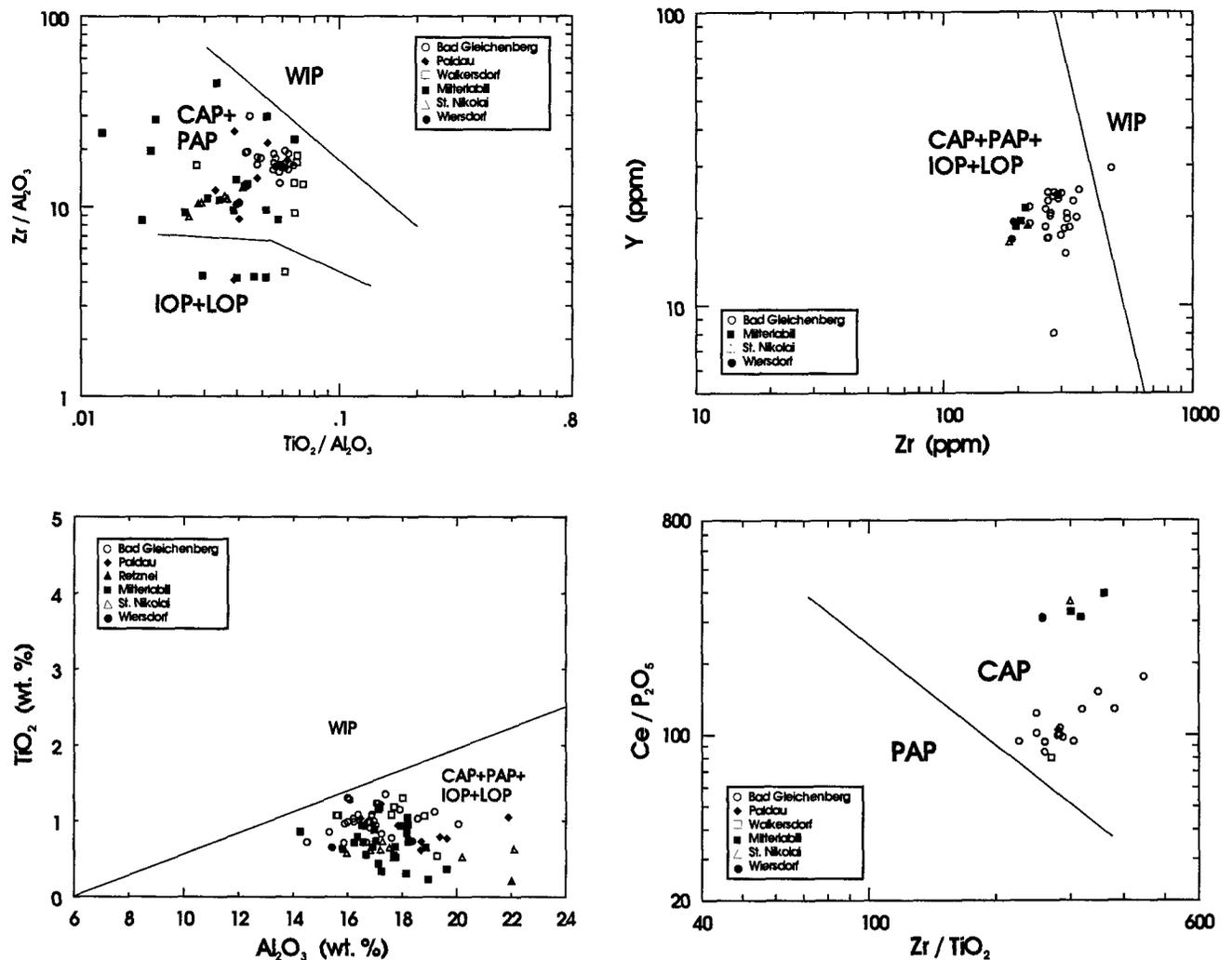


Abb. 10a-d  
 Geotektonische Klassifizierung nach MÜLLER et al., 1992, (WIP...“within plate position”, CAP...“continental arc position”, PAP...“postcollisional arc position”, IOP...“initial oceanic-arc position”, LOP...“late oceanic-arc position”)

## 6. Diskussion und Schlußfolgerungen

Die geochemischen Daten zeigen, daß die miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens nicht durch einen einheitlichen magmatischen Trend im Zuge einer fraktionierten Kristallisation zu erklären sind. In Gegensatz zu den Vulkaniten des inneren Karpatenbogens (KALIČIAK & ŽEC, 1995; DOWNES et al., 1995; KONEČNÝ et al., 1995; MASON et al., 1996) und des Pannonischen Beckens (HARANGI, 1995) zeigen die Harker-Diagramme keine oder kaum interpretierbare Korrelationen. Das beträchtliche Streuen der Datenpunkte könnte durch Magmenmischung oder durch unterschiedlich starke Krustenassimilation erklärt werden. Hinweise auf derartige Abläufe in der Magmenentwicklung geben die häufigen Rekurrenzen der Anorthitgehalte der Plagioklase und die Korrosionserscheinungen an porphyrischen Pyroxenen und Plagioklasen.

Aus den Spurenelementanalysen ergibt sich, daß es zwei Magmenbereiche gibt, die geochemisch eindeutig unterscheidbar sind und auch verschiedene geographische Verbreitung besitzen. Die Dazite und Latite von Mitterlabill, St. Nikolai und Wiersdorf (südwestliche Gruppe) zeigen in Bezug auf kompatible Spurenelemente und Seltene Erden die Charakteristik eines höher entwickelten Magmas. Sie

weisen jedoch für die inkompatiblen Spurenelemente, mit Ausnahme der leichten Seltene Erden, geringere Anreicherungen auf als die Latite von Bad Gleichenberg, Paldau und Walkersdorf, die die nordöstliche Gruppe bilden. Diese wiederum haben bezüglich kompatibler Spurenelemente und SEE relativ primitiveren Charakter.

Daß die geochemischen Unterschiede tatsächlich auf verschiedene Magmenquellen zurückzuführen sind und nicht bloß den lithologischen Unterschied von Latit und Dazit widerspiegeln, zeigt sich an den Proben von Mitterlabill, wo sowohl Latite wie auch Dazite dieselbe Spurenelementcharakteristik besitzen, während sich die Latite von Mitterlabill in den Spurenelementen eindeutig von jenen von Bad Gleichenberg oder Paldau unterscheiden.

Es zeigen sich auch keine erkennbaren Änderungen der geochemischen Trends innerhalb einer Bohrung mit zunehmender Tiefe.

Die einfachste Erklärung für die geochemischen Unterschiede der beiden Gruppen von Vulkaniten wäre, daß benachbarte, jeweils lithologisch komplex zusammengesetzte Mantelbereiche, die sich aber aus sehr unterschiedlichem Material aufbauen, zur Aufschmelzung gelangen, die entstehenden Magmen in höhere Niveaus der Lithosphäre aufsteigen und in unterschiedlichem Ausmaß Krustenmaterial assi-

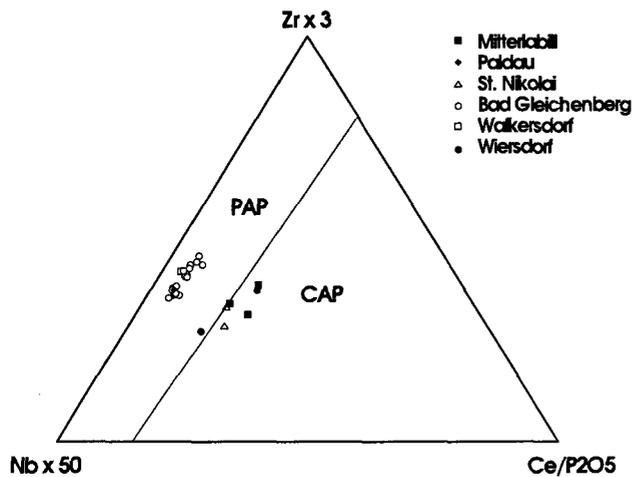


Abb. 11  
Geotektonische Klassifizierung nach MÜLLER et al., 1992, (CAP...“continental arc position”, PAP...“postcollisional arc position”).

milieren. Die Inhomogenität des Mantels kann durch Eintrag von subduziertem Material unterschiedlicher Zusammensetzung (subduzierte ozeanische Kruste, subduzierte marine Sedimente) oder damit zusammenhängende Metasomatose bewirkt sein.

Aufgrund paläontologischer Einstufungen kann eine Verschiebung der vulkanischen Hauptaktivität, die im Karpatien im zentralen Beckenbereich liegt (Mitterlabill, St. Nikolai, Weitendorf, Paldau, Bad Gleichenberg) während des Unteren Badenien gegen Norden (Bereiche Bad Gleichenberg, Walkersdorf, Weitendorf) festgestellt werden (EBNER & SACHSENHOFER, 1991). Die etwas älteren, höher entwickelten Magmen der südwestlicheren Gruppe weisen eine geringere Beeinflussung durch Assimilation kontinentaler Kruste auf, als die relativ jüngeren, nach kompatiblen Spurenelementen und SEE etwas primitiveren Magmen.

Daß gerade in der Anfangsphase einer vulkanischen Entwicklung höherentwickelte Magmen auftreten, ist auch aus den Karpaten bekannt (MASON et al., 1996). Der relativ primitivere Charakter nachfolgender Magmengenerationen könnte dadurch erklärt werden, daß aus mantelnäheren Niveaus abgeleitete Magmen die Kruste nur an bereits vorgezeichneten Aufstiegswegen durchdringen können (MASON et al., 1996). Die stärkere Assimilation ist durch längeren Aufenthalt in der Magmenkammer oder größeres Volumen der Magmenkammer erklärbar.

Der Vulkanismus der geochemisch recht einheitlichen Gruppe von Mitterlabill, St. Nikolai, Weitendorf beginnt im unteren Karpatien und endet im unteren Badenien. Für den Vulkanismus von Paldau, Bad Gleichenberg und Walkersdorf ist ein Unterbadenieneralter gesichert (EBNER & SACHSENHOFER, 1991). In Paldau und Bad Gleichenberg ist die Untergrenze nicht exakt bekannt und könnte ebenfalls im Karpatien liegen. In Bad Gleichenberg hält die vulkanische Aktivität noch länger an, in der Bohrung StW2 bis ins Mittlere Badenien (nach ersten vorläufigen  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen an Sanidinen durch Prof. W. FRANK, Geol. Inst. Univ. Wien). Die beiden geochemisch unterscheidbaren Magmen werden somit über einen beträchtlichen Zeitraum gleichzeitig gefördert, was auf Herkunft aus verschiedenen Magmenkammern hinweist. Die Magmenkammern waren relativ klein, da der geothermische Gradient mit Beendigung des aktiven Vulkanismus sofort sinkt, lediglich im Bereich Walkersdorf kann für etwa 1 Mio Jahre nach dem Ende des Vulkanismus noch ein

deutlich erhöhter Gradient festgestellt werden, der auf das Vorhandensein einer größeren Magmenkammer schließen läßt (SACHSENHOFER, 1996).

Die geochemischen Diskriminierungen nach MÜLLER et al., 1992 zeigen einen eindeutigen Subduktionsbezug für alle Proben, lediglich die Unterscheidung von “continental arc” und “postcollisional arc” ist nicht eindeutig.

Eine derartige Einstufung ist aber aus geologischen Gründen problematisch. Die aktive Subduktion in den Ostalpen endet im Eozän. Shoshonitische Lamprophyre aus dem Ostalpinen Kristallin, die von MÜLLER & GROVES, 1995 als typisch “postcollisional” klassifiziert werden, besitzen oligozäne K-Ar-Alter (DEUTSCH, 1984) und sind somit um etwa 10 bis 15 Mio. Jahre älter als die miozänen Vulkanite des Steirischen Beckens. Die Aufschmelzung kann somit nicht in direktem Zusammenhang mit einer aktiven Subduktion stehen. Der Vulkanismus fällt vielmehr mit einer gegen den pannonischen Raum gerichteten Extension des Deckenstapels der Ostalpen zusammen (siehe z. B. RATSCHBACHER et al., 1991, “continental escape”). Ein Modell, das die Aufschmelzung auf Druckentlastung in Folge von Dehnungstektonik zurückführt, ist jedoch ebenfalls problematisch, da bereits vor dem Einsetzen der Dehnungsphase und der beginnenden Absenkung des Beckens die Kruste aufgrund eines erhöhten Wärmeflusses extrem geschwächt war (SACHSENHOFER, 1996).

Eine Erklärung für eine deutlich zeitverschobene Schmelzbildung nach dem Ende der Subduktion könnte das Modell einer Entkoppelung eines Teils der unteren Lithosphäre liefern (z. B. PLATT & ENGLAND, 1994), in dem angenommen wird, daß durch ein schubweises konvektionsbedingtes Abtauchen von Anteilen der unteren Lithosphäre in den Mantel heiße Asthenosphäre ein direkten Kontakt mit höheren Anteilen der Lithosphäre kommt. Dieses Modell kann den Zusammenhang von Hebung des Gebirgskörpers, Hochlage der Asthenosphäre mit entsprechend hohem Wärmefluß, Bildung kaliumreicher Magmen und Dehnungstektonik erklären.

Eine sehr ähnliche Interpretation wird von SERRI et al., 1998 und HARANGI et al., 1995 für den miozänen Vulkanismus des Steirischen Beckens vorgeschlagen.

Die Vulkanite sind somit insgesamt im Zuge von Dehnungstektonik und “rifting” entstanden, wobei aber ein genetischer Zusammenhang zur vorhergegangenen Subduktion, die allerdings schon 10 bis 15 Mio. J. vor dem an der Oberfläche aktiven Vulkanismus beendet wurde, besteht. Die Geochemie der Magmen scheint hier nicht so sehr von der tektonomagmatischen Position des aufschmelzenden Gesteins bestimmt zu sein, sondern von dem Material, das zur Verfügung steht, das also abhängig ist von der tektonischen Vergangenheit des jeweiligen Bereichs (siehe auch NELSON, 1992).

## Dank

Den Firmen RAG und OMV, sowie der Forschungsgesellschaft Joanneum wird für die gute Kooperation, den unbürokratischen Zugang zu den Bohrkernen und die Zurverfügungstellung von Probenmaterial für die chemische Analytik herzlich gedankt. Dr. I. Wimmer-Frey und Dr. M. Homayoun (beide GBA) erstellten Tonmineralanalysen und halfen bei der Interpretation. Dr. Th. Ntafos und Mag. Amr al Dalek (beide Inst. f. Petrologie, Univ. Wien) führten Mikrosondenanalysen durch, Dr. U. Klötzli (Inst. f. Geologie, Univ. Wien) war bei der Auswertung behilflich.

## Literatur

BALOGH, K., EBNER, F., RAVASZ, C., HERRMANN, P., LOBITZER, H. & SOLTI, G. (1994): K/Ar-Alter tertiärer Vulkanite der südöstlichen

- Steiermark und des südlichen Burgenlands. – Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich – Ungarn, Teil 2, 55–72, Geol. B.-A., Wien.
- BELOCKY, R., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P. (1996): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomalienhinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Bericht ÜLG-28/95, 96 S., 14 Beil., Wien.
- BELOCKY, R., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P. (1997): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomalienhinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Bericht ÜLG-28/96, 84 S., 6 Beil., Wien.
- CSONTOS, L. (1995): Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. – (In): H. Downes & O. Vaselli (Hrsg.): Neogene and related volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – *Acta Vulcanol.*, **7**, 1–13, Pisa, Rom.
- DEUTSCH, A. (1984): Young alpine dykes south of the Tauern Window (Austria): a K-Ar and Sr isotope study. – *Contrib. Mineral. Petrol.*; **85**, 45–57, 11 Abb., 4 Tab., Berlin.
- DOWNES, H., PANTÓ, Gy., PÓKA, T., MATTEY, D. P. & GREENWOOD, P. B. (1995): Calc-alkaline volcanics of the Inner Carpathian arc, Northern Hungary: new geochemical and oxygen isotopic results. – (In): H. Downes & O. Vaselli (Hrsg.): Neogene and related volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – *Acta Vulcanol.*, **7**, 29–41, Pisa, Rom.
- EBNER, F. (1992): Vulkanismus im Steirischen Becken. – *Mitt. Österr. Mineral. Ges.*, **137**, 231–242, Wien.
- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R. F. (1991): Die Entwicklungsgeschichte des steirischen Tertiärbeckens. – *Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum* **49**, 1–96, Graz.
- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R. F. (1995): Palaeogeography, subsidence and thermal history of the Neogene Styrian Basin (Pannonian basin system, Austria). – *Tectonophysics*, **242**, 133–150, Amsterdam.
- EBNER, F., ERHART-SCHIPPEK, F. & WALACH, G. (1986): Erdgasspeicher Oststeiermark – Geologische Gebietsauswahl. – *Arch. f. Lagerstättenforsch. Geol. B.-A.*, **7**, 5–17, Wien.
- FLÜGEL, H. W. (1988): Geologische Karte des prätertiären Untergrundes. – (In): Geologische Themenkarten der Republik Österreich, 1 : 200.000: Steirisches Becken – Südburgenländische Schwelle, Geol. B.-A. (Hrsg.), Wien.
- GILL, J. B. (1981): Orogenic andesites and plate tectonics. – XIV+370 S, Berlin [u.a.] (Springer).
- HARANGI, S. (1996): Neogene magmatism at the Alpine-Pannonian transition zone. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **41**, 109–110, Wien.
- HARANGI, Sz., WILSON, M. & TONARINI, S. (1995): Petrogenesis of Neogene potassic volcanic rocks in the Pannonian Basin. – (In): H. Downes & O. Vaselli (Hrsg.): Neogene and related volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – *Acta Vulcanol.*, **7**, 125–134, Pisa, Rom.
- HAUSER, A. & KAPOUNEK, J. (1953): Das Vulkangebiet Mureck – Retznei (Stmk.). – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **83**, 64–68, Graz.
- HAUSER, A. & KOLLMANN, K. (1954): Ein Andesitvorkommen in Wundschuh bei Graz. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **84**, 67–70, Graz.
- HAUSER, A. (1951): Ein Vorkommen von Biotitandesit in Retznei bei Ehrenhausen. – *Tschermaks Miner. Petr. Mitt.* **3. F.**, **2**, 157–165, Wien.
- HAUSER, A. (1954): Der steirische Vulkanbogen als magmatische Provinz. – *Tschermaks Miner. Petr. Mitt.* **3. F.**, **4**, 301–311, Wien.
- HERITSCH, H. (1963): Exkursion zum Basaltbruch von Weitendorf. Mit einem Beitrag von H. Höller. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **93**, 199–205, Graz.
- HERITSCH, H. (1964): Über das vulkanische Gestein von Wundschuh, südlich von Graz. – *Anz. Österr. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl.*, **101**, 246–247, Wien.
- HERITSCH, H. (1964): Vorläufige Mitteilung über Untersuchungen an Vulkaniten aus den neuen Tiefbohrungen von Mitterlabill und Walkersdorf, Steiermark. – *Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., math. – naturwiss. Kl.*, **1964**, 409–411, Wien.
- HERITSCH, H. (1965): Mitteilung über den Fortschritt von Untersuchungen an Vulkaniten aus den Tiefbohrungen von Mitterlabill und Paldau, Steiermark. – *Anz. Österr. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl.*, **102**, 316–320, Wien.
- HERITSCH, H. (1966): Das vulkanische Gestein aus einer Bohrung bei Wundschuh, südlich von Graz. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **96**, 59–68, Graz.
- HERITSCH, H. (1966): Ein Dazit aus der Tiefbohrung von Mitterlabill östlich von Wildon, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **96**, 43–49, Graz.
- HERITSCH, H. (1966): Ein Latit aus der Tiefbohrung von Paldau, westlich Feldbach, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **96**, 50–58, Graz.
- HERITSCH, H. (1967): Eine chemische Analyse des Basaltes (Shoshonites) von Weitendorf südlich von Graz, Steiermark. – *Anz. Österr. Akad. Wiss., Math.- naturwiss. Kl.*, **104**, 223–226, Wien.
- HERITSCH, H. (1967): Eine weitere chemische Untersuchung an dem Latit der Tiefbohrung von Walkersdorf, südlich Ilz, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **97**, 11–13, Graz.
- HERITSCH, H. (1967): Eine weitere chemische Untersuchung an dem Quarzlatit der Tiefbohrung von Mitterlabill, östlich von Wildon, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **97**, 14–16, Graz.
- HERITSCH, H. (1967): Über die Magmenentfaltung des steirischen Vulkanbogens. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **15**, 330–344, Berlin etc.
- HERITSCH, H. (1975): Untersuchungen an dem vulkanischen Gestein der Bohrung Ponigl bei Weitendorf, südlich von Graz. – *Mitt. Abt. Mineral. Landesmus. Joanneum*, **42**, 259–268, Graz.
- HERITSCH, H. (1979): Vulkanite aus den Tiefbohrungen von St. Nikolai, Wiersdorf und St. Peter, Oststeiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **109**, 25–32, Graz.
- HERITSCH, H. (1982): Die Latite aus der Tiefbohrung in Bad Gleichenberg, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **112**, 27–47, Graz.
- HERITSCH, H. (1984): Trachyandesit, Trachyt, Rhyolith, Shoshonit und Tuffe. – (In): H. W. Flügel & F. Neubauer: Erläuterungen zur geologischen Karte der Steiermark, S. 21f, Geol. B.-A., Wien.
- HERITSCH, H., BORSCHUTZKY, J. & SCHUCHLENZ, H. (1965): Zwei vulkanische Gesteine aus den Tiefbohrungen von Mitterlabill, östlich von Wildon, und von Walkersdorf, südlich von Ilz (Stmk.): *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **95**, 104–114, Graz.
- HRADECKÝ, P., SLAPANSKY, P. & BELOCKY, R. (1999): The Bad Gleichenberg StW2 borehole – a contribution to lithology, alteration, and mineralization of the Miocene volcanics of the Styrian Basin (Austria). – *Abh. Geol. B.-A.*, **56/1**, 3977–405, Wien.
- KALUČIAK, M. & ŽEC, B. (1995): Review of Neogene volcanism of Eastern Slovakia. – (In): H. Downes & O. Vaselli (Hrsg.): Neogene and related volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – *Acta Vulcanol.*, **7**, 87–95, Pisa, Rom.
- KOLLMANN, K. (1965): Jungtertiär im Steirischen Becken. – *Mitt. Geol. Ges. Wien*, **57**, 479–632, Wien.
- KONEČNÝ, V., LEXA, J. & HOJSTRICHOVÁ, V. (1995): The Central Slovakia Neogene volcanic field: a review. – (In): H. Downes & O. Vaselli (Hrsg.): Neogene and related volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – *Acta Vulcanol.*, **7**, 63–78, Pisa, Rom.
- KROLL, A. (1988): Reliefkarte des prätertiären Untergrundes. – (In): Geologische Themenkarten der Republik Österreich, 1 : 200.000: Steirisches Becken – Südburgenländische Schwelle, Geol. B.-A. (Hrsg.), Wien.
- KROLL, A., FLÜGEL, H. W., SEIBERL, W., WEBER, F., WALACH, G. & ZYCH, D. (1988): Erläuterungen zu den Karten über den prätertiären Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle. – *Geologische Bundesanstalt*, 49 S., Wien.
- LE BAS, M. J., LE MAITRE, R. W. & WOOLLEY, A. R. (1992): The Construction of the Total Alkali-Silica Chemical Classification of Volcanic Rocks. – *Mineral. Petrol.*, **46**, 1–22, Wien, New York.
- MACHATSCHKI, F. (1927): Über den Basalt von Weitendorf (Steiermark), seine exogenen Einschlüsse und Kluffüllungen. – *Centralblatt Min. II, Abt A*, **1927**, 367–374, Berlin.
- MARCHET, A. (1931): Zur Petrographie der vorsarmatischen Ergußgesteine bei Gleichenberg in Oststeiermark. – *Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl.*, **Abt I.**, **140**, 461–540, Wien.
- MASON, P. R. D., DOWNES, H., THIRLWALL, M. F., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A., LOWRY, D. & MATTEY, D. (1996): Crustal Assimilation as a Major Petrogenetic Process in the East Carpathian Neogene and Quaternary Continental Margin Arc, Romania. – *J. Petrol.*, **37**, 927–959, Oxford.
- MESCHÉDE, M. (1986): A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb – Zr – Y diagram. – *Chem. Geol.*, **56**, 207–218, Amsterdam.
- MÜLLER, D., ROCK, N. M. S. & GROVES, D. I. (1992): Geochemical Discrimination Between Shoshonitic and Potassic Volcanic Rocks in Different Tectonic Settings: a Pilot Study. – *Mineral. Petrol.*, **46**, 259–289.

- MÜLLER, D. & GROVES, D. I.: (1995): Potassic igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization. – Lecture Notes in Earth Sciences **56**, 210p, Springer (Berlin u. v. a.).
- NELSON, D. R. (1992): Isotopic characteristics of potassic rocks: evidence for the involvement of subducted sediments in magma genesis. – *Lithos*, **28**, 403–420.
- PÉCSKAY, Z., LEXA, J., SZAKÁCS, A., BALOGH, K., SEGHEDI, I., KONEČNÝ, V., KOVÁCS, M., MÁRTON, E., KALIČIAK, M., SZÉKY-FUX, V., PÓKA, T., GYARMATI, P., EDELSTEIN, O., ROSU, E. & ŽEC, B. (1995): Space and time distribution of neogene-quaternary volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – (In: H. Downes & O. Vaselli (Hrsg.): Neogene and related volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – *Acta Vulcanol.*, **7**, 15–28, Pisa, Rom.
- PEARCE, J. A. (1982): Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. – (In: Thorpe, R. S. (Ed.): *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*, 525–548, Chichester [u. a.] (J. Wiley & Sons).
- PEARCE, J. A. & CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**, 290–300, Amsterdam.
- PEARCE, J. A. & NORRY, M. J. (1979): Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **69**, 33–47, Wien, New York.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S. R. (1976): Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **58**, 63–81.
- PLATT, J. P. & ENGLAND, P. C. (1994): Convective removal of lithosphere beneath mountains belts: thermal and mechanical consequences. – *Amer. J. Sci.*, **294**, 307–336, New Haven, Conn.
- PRODINGER, W. & SCHARBERT, S. (1968): Spezieller Bericht des Chemischen Laboratoriums. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1968**, A 77-A 82, Wien.
- PRODINGER, W. & SCHARBERT, S. (1969): Bericht des Chemischen Laboratoriums 1968. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1969**, A 84-A 89, Wien.
- RATSCHBACHER, L., FRITSCH, W., LINZER, H. G. & MERLE, O. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps: part 2, structural analysis. – *Tectonics*, **10**, 257–272, Washington D. C.
- SACHSENHOFER, R. F. (1996): The Neogene Styrian Basin: An overview. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **41**, 19–32, Wien.
- SACHSENHOFER, R. F., LANKREIJER, A., CLOETHING, S. & EBNER, F. (1997): Subsidence analysis and quantitative basin modelling in the Styrian Basin (Pannonian Basin System, Austria). – *Tectonophysics*, **272**, 175–196, Amsterdam.
- SCHLAEGEL-BLAUT, P. (1990): Der basische Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone, Oberostalpinen Paläozoikum. – *Abh. Geol. B.-A.*, **43**, 149 S, Wien.
- SERRI, G., MUSAKA, S., RENZULLI, A., TRUA, T., KOLMER, H. & DOSTAL, J. (1998): Geochemistry and Sr, Nd, Pb Isotopes of Miocene and Plio-Pleistocene Volcanic Rocks from two Neogene Sub-Basins of the Pannonian System (Styria and Carinthia): Geodynamic Implications. – (In: Carpathian-Balkan Geological Association XVI Congress: Abstracts, S.545, Wien.
- STEININGER, F. F. & BAGDASARJAN, G. P. (1977): Neue radiometrische Alter mittelmiozäner Vulkanite der Steiermark (Österreich), ihre biostratigraphische Korrelation und ihre mögliche Stellung innerhalb der paläomagnetischen Zeitskala. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1977**, 85–99, Wien.
- TARI, V. & PAMIC, J. (1996): Geodynamic evolution of the area adjoining the Pannonian Basin and Dinarides. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **41**, 138–139, Wien.
- TAYLOR, S. R. & MCLENNAN, S. M. (1985): The Continental Crust: its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks- XV+312 S., Blackwell, Oxford etc.
- THOMPSON, R. N., MORRISON, M. A., HENDRY, G. L. & PARRY, S. J. (1984): An assesment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. – *Phil. Trans. R. Soc. London*, **A 310**, 549–590.
- WOOD, D. A. (1980): The application of a Th-Hf-Ta Diagram to the problems of tectonomagmatic classification and to the establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **50**, 11–30, Amsterdam.