

Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich – Ungarn			A 20 éves magyar-osztrák földtani együttműködés jubileumi kötete		
Redaktion: Harald Lobitzer, Géza Császár & Albert Daurer			Szerkesztette: Lobitzer Harald, Császár Géza & Daurer Albert		
Teil 2	S. 55–72	Wien, November 1994	2. rész	pp. 55–72	Bécs, 1994. november
ISBN 3-900312-92-3					

K/Ar-Alter tertiärer Vulkanite der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlands

Von KADOSA BALOGH, FRITZ EBNER & CSABA RAVASZ
Mit Beiträgen von PAUL HERRMANN, HARALD LOBITZER & GÁBOR SOLTI*)

Mit 6 Abbildungen und 5 Tabellen

Österreich
Ungarn
Burgenland
Südoststeiermark
Pannonisches Becken
Steirisches Tertiärbecken
Radiometrische Altersbestimmung
Neogener Vulkanismus
K/Ar-Alter

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 107, 163, 190, 192

Inhalt

Zusammenfassung	56
Összefoglalás	56
Abstract	57
1. Einleitung	57
2. Probennahme und Untersuchungsmethoden	57
3. Das südoststeirisch-burgenländische Vulkangebiet	58
3.1. Miozäner Vulkanismus	58
3.1.1. Weitendorf	58
3.1.2. Gossendorf	59
3.1.3. Oberpullendorf	59
3.1.4. Pauliberg	59
3.2. K/Ar-Alter distaler miozäner Tuffe	59
3.3. Pliozäner Vulkanismus	60
3.3.1. Klöch	60
3.3.2. Wilhelmsdorf	60
3.3.3. Neuhaus	61
3.3.4. Mühlendorf	61
3.3.5. Unterweissenbach	61
3.4. Petrologische Kurz-Charakterisierung weiterer Vulkanite des Steirischen und Südburgenländischen Beckens	61
3.4.1. Vulkanite der weiteren Umgebung von Feldbach und Bad Gleichenberg	62
3.4.1.1. Unterweissenbach	62
3.4.1.2. Bairisch Kölldorf	62
3.4.1.3. Kapfenstein	62
3.4.1.4. Aschbuch	62
3.4.1.5. Forstkogel	62
3.4.1.6. Pertlstein	62
3.4.1.7. Gniebing	62
3.4.1.8. Edelsbach	62
3.4.2. Vulkanite der weiteren Umgebung von Fürstenfeld und Güssing	62
3.4.2.1. Fürstenfeld	62
3.4.2.2. Limbach	62
3.4.2.3. Tobaj	63
3.4.2.4. Güssing	63

*) Anschriften der Verfasser: Dr. KADOSA BALOGH, Institute of Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences, Bem tér 18/C, H-4026 Debrecen, Ungarn; Univ.-Prof. Dr. FRITZ EBNER, Montanuniversität, Institut für Geowissenschaften, A-8700 Leoben, Österreich; Dr. CSABA RAVASZ, Dr. GÁBOR SOLTI, Hungarian Geological Survey, Stefánia út 14, H-1442 Budapest, Ungarn; Dr. PAUL HERRMANN, Dr. HARALD LOBITZER, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, A-1031 Wien, Österreich.

4. Diskussion der geochronologischen Aussagen der K/Ar-Messungen	63
4.1. Weitendorf	64
4.2. Gossendorf	65
4.3. Pauliberg	65
4.4. Oberpullendorf	65
4.5. Mühldorf	65
4.6. Neuhaus	65
4.7. Klöch	65
4.8. Wilhelmsdorf	66
4.9. Bomben von Neuhaus und Unterweissenbach	66
5. Schlußfolgerungen und Bemerkungen zur magmatogenen Entwicklung am Alpenstrand	66
5.1. Karpat–Unterbaden (Saure-intermediäre Vulkanite)	66
5.2. Obersarmat–Unterpannon (Alkaliolivinbasalte)	68
5.3. Pliozän–Pleistozän (Basanitoiden)	68
Dank	70
Literatur	70

Zusammenfassung

Gemeinsam mit älteren und von anderen Autoren bekanntgemachten biostratigraphischen und radiometrischen Altersdaten können die neogenen vulkanischen Gesteine des südlichen Burgenlandes, der Oststeiermark und des Lavanttales aufgrund der nun vorgelegten K/Ar-Alter und der kompletär dazu durchgeführten mineralogisch-petrographischen Untersuchungen drei klar unterscheidbaren Eruptionsphasen zugeordnet werden.

1) Die älteste Eruptionsphase setzt im Karpat ein und dauert bis ins Unterbaden an. Repräsentiert wird diese Phase durch trachyandesitisch-lattische Gesteine in den ÖMV- und RAG-Bohrungen Mittertabill 1, Paldau 1, Perlsdorf F 1067, St. Nikolai 1,2, Wiersdorf 1, St. Peter 1, Perbersdorf 1, Walkersdorf 1, die Vulkankomplexe von Gleichenberg, Weitendorf-Wundschuh und Kollnitz im Lavanttal. Ein nun aus Gossendorf bei Gleichenberg vorliegendes Datum von $13,2 \pm 1,0$ Mio. J. ist mit paläontologischen und geologischen Befunden nicht vereinbar.

Dem miozänen Zyklus zugeordnete Bentonite und Glastuffe des Weststeirischen Beckens lieferten aufgrund starker Alterationserscheinungen bei den K/Ar-Datierungen bis jetzt nur unzureichende Ergebnisse, weisen in zwei Fällen (Pöls und Tregistsattel) aber ebenfalls auf einen Zeitbereich Karpat–Unterbaden. Der kalkalkalische Charakter der Vulkanite dieser Phase deutet auf eine gewisse Subduktionsbeteiligung bzw. Aufschmelzung krustaler Teile bei der Magmenbildung.

2) Der zweiten Eruptionsphase gehören der „Diabas“ des Pauliberges (11,5 Mio. Jahre) und die Alkalibasalte von Oberpullendorf (11,1 Mio. Jahre) bzw. des Pauliberges (10,5 Mio. Jahre) an; ihr Alter ist Unterpannon.

3) Nach einer länger andauernden vulkanisch-inaktiven Periode stellte sich schließlich im jüngeren Pliozän (Roman) eine längerfristig sehr aktive und produktive effusive bzw. pyroklastische Phase ein. Hierher sind folgende Ergüsse zu stellen: Nephelinbasanit von Klöch, Tephrit von Wilhelmsdorf, Feldspatvertreter-Olivin-Basalt und Basalt von Neuhaus, Nephelinbasanit und Nephelinbasalt von Mühlhof, Basalt von Unterweissenbach. Diese Gesteine zeigen einen stetig zunehmenden Gesamtalkaligehalt, insbesondere einen steigenden Na_2O -Gehalt und weisen radiometrische Alter auf, die vom Daz/Roman-Grenzbereich (Neuhaus $3,7 \pm 0,5$ Mio. J.) bis möglicherweise ins Pleistozän reichen. Die jüngsten Datierungen stammen aus dem Tephrit von Wilhelmsdorf mit $1,71 \pm 0,72$ Mio. Jahren.

Die beiden jüngeren Ergußphasen werden mit einem kontinentalen Rifting in Verbindung gebracht, wobei die Lavenassoziationen dem atlantischen Typ angehören, d. h. einer alkalischen Serie, die sich aus einem olivinbasaltischen Magmenstamm herleitet.

Die von tief liegenden Basaltgängen durchzogenen Trachyte der Kleinen Ungarischen Tiefebene können mit den Vorkommen von Weitendorf und Gossendorf parallelisiert werden. Die subterrestrischen basaltischen Stratovulkane des Donau-Theiss-Zwischenstromlandes entsprechen den Basalten des Pauliberges und von Oberpullendorf, während die Alkalibasalte der Umgebung von Salgótarján mit den Basaniten des Bereiches Feldbach-Klöch verglichen werden können.

Délkelet-Stájerország és Dél-Burgenland harmadidőszaki vulkanitjainak K/Ar kora

Összefoglalás

A most nyert K/Ar koradatok és kiegészítő ásvány-kőzettani vizsgálatok alapján más szerzők által aláfűtött és részben publikált biosztratigraphiai és radiometrikus koradatok segítségével lehetővé vált a dél-burgenlandi, a kelet-stájerországi és levantali neogén vulkáni kőzeteket három világosan elkülöníthető erupciós fázisba sorolni.

1) A legidősebb erupciós fázis a kárpáti korszakban kezdődött és a kora-bádeniig tartott. Ezt a fázist az ÖMV és a RAG alábbi fúrásaiból: Mittertabill 1., Paldau 1., Perlsdorf F 1067., St. Nikolai 1.,2., Wiersdorf 1., St. Peter 1., Perbersdorf 1., Walkersdorf 1., valamint a gleichenbergi, a weitendorfwundschuhi és a kollnizi (Lavanttal) vulkáni komplexumból származó trachyandezites–lattitos kőzetek képviselik. A Gleichenberg melletti Gossendorfból vett minta $13,2 \pm 1,0$ M. éves.

Az erőteljes átalakulás miatt a miocén ciklusba sorolt nyugat-stájer medencebeli bentonitok és üvegtufák igénylik a további K/Ar adatbővítést. Ezek két esetben (Pöls és Tregistsattel) éppen a kárpáti–kora-bádeni időbesorolást adják. E fázis vulkanitjainak mészkáli jellege a kéregnek magmaképződés során történő bizonyos szubduktív elnyelődésére illetve megolvadására utal.

2) A második erupciós fázishoz a paulibergi diabáz (11,5 M. év), az oberpullendorfi (11,1 M. év), illetve a paulibergi (10,5 M. év) alkáli bazalt tartozik. Ezek kora pannóniai.

3) Egy hosszabb idejű inaktív vulkáni periódus után végül a fiatal pliocén folyamán következett be egy időben elnyúló, nagyon aktív és produktív effuzív, illetve pyroklastikus fázis. Itt az alábbiak említhetők: a klöchi nefelinbasanit, a wilhelmsdorfi tephrit, a neuhausi földpátpótlós olivin-bazalt és bazalt, a mühlhofi nefelinbasanit és nefelinbasalt és az unterweissenbachi bazalt. Ezek a kőzetek folyamatosan növekvő összkálii tartalommal rendelkeznek. Különösen a Na_2O tartalom növekszik. Radiometrikus korok a dáciai–román határtól (Neuhaus $3,7 \pm 0,5$ M. év) valószínűleg átnyúlik a pleisztocénbe (wilhelmsdorfi tephrit, $1,7 \pm 0,72$ M. év). A két fiatalabb kiömlési fázis kontinentális riftingtel áll kapcsolatban, ahol a láva atlanti típusú, vagyis olyan alkáli sorozat, amely olivinbasaltos magmatörzsből származik.

A mély helyzetű bazalttelérekkel átjárt kislétező trachitok a weitendorfi és gossendorfi előfordulásokkal párhuzamosíthatók. A Duna–Tisza-közi szubterrestrikus bazalt sztratovulkánjai a paulibergi és oberpullendorfi bazaltoknak, míg a Salgótarján környéki bazanitok a Feldbach-Klöch terület bazanitjainak felelhetnek meg.

K/Ar Age of the Tertiary Volcanics of Southeastern Styria and Southern Burgenland

Abstract

Based on the newly obtained K/Ar data and additional mineralogical-petrographical investigations and also on partly already published studies by different authors, including biostratigraphic and radiometric data, it became possible to class the Neogene volcanic rocks of S Burgenland, Styria and Lavanttal into three clearly distinguishable groups.

1) The oldest eruption phase started in the Karpatian and lasted till the Early Badenian. This phase is represented by the following boreholes of the ÖMV and RAG: Mitterlabill 1, Paldau 1, Perlsdorf F 1067, St. Nikolai 1,2, Wiersdorf 1, St. Peter 1, Perbersdorf 1, Walkersdorf 1, and by the trachyandesitic-latic rocks coming from the Weitendorf-Wundschuh and Kollnitz (Lavanttal) volcanic complex.

The age data of 13.2 ± 1.0 myrs of the sample taken from Gossendorf at Gleichenberg do not correspond with the paleontological and other geological evidence.

Because of the remarkable transformation the bentonites and glass tuffs of the W Styrian Basin, classed in the Miocene cycle, require further K/Ar data. These, in two cases, Pöls and Tregistsattel, offer the Karpatian-Early Badenian chronological setting. The calc-alkali features of the volcanites of this phase point to subductional activity or melting, respectively, of the crust in the course of the magma formation.

2) The second eruptional phase includes the Pauliberg diabase (11.5 myrs), and the Oberpullendorf (11.1 myrs) and the Pauliberg (10.5 myrs) alkali basalt, respectively. Their age is Pannonian.

3) Finally, after a longer, volcanically inactive period a long-lasting, very active and productive effusive and pyroclastic phase, respectively, occurred during the Late Pliocene. Here the following discharges can be mentioned: the nepheline basanite at Klöch, the tephrite at Wilhelmsdorf, the foidal olivine basalt and nepheline basanite at Mühlendorf and the basalt at Unterweissenbach. These rocks have continuously increasing total alkali contents, with a specially remarkable increase of Na_2O . Their radiometric age from the Dacian-Romanian boundary (Neuhaus 3.7 ± 0.5 myrs) probably reaches the Pleistocene (Wilhelmsdorf tephrite, 1.7 ± 0.72 myrs.).

The two youngest discharge phases are related to continental rift formation where the lava is of Atlantic type, i.e. it is an alkali sequence that comes from an olivine basaltic magma body.

The trachytes of the little Hungarian Plain, cut across by deep situated basalt veins, can be correlated with the occurrences at Weitendorf and Gossendorf. The subterrestrial basalt stratovolcanoes of the Danube-Tisza Interfluvium may be correlated with the basalts of Pauliberg and Oberpullendorf, while the alkali basalts at Salgótarján with the basanites in the Feldbach-Klöch region.

1. Einleitung

Im Rahmen des österreichisch-ungarischen Zusammenarbeits-Projektes ÜLG 19 „Aufsuchung von Alginit in Österreich“ wurden von SOLTI, RAVASZ und LOBITZER auch Proben von Basalten und Basalttuffen an zahlreichen Lokalitäten des südlichen und mittleren Burgenlands sowie der Oststeiermark entnommen, die in weiterer Folge zum Teil von K. BALOGH hinsichtlich ihres radiometrischen Alters untersucht wurden. Diese Untersuchungen sind nicht nur im Hinblick auf die zeitliche Abfolge und Paläogeographie der diversen Lavaergüsse von Interesse, sondern stellen auch ein wichtiges Indiz bei der Prospektion von verschiedenen Vorkommen pyroklastisch beeinflusster mineralischer Rohstoffe, wie Bentonit und insbesondere auch Alginit, dar. Weiters wollten wir die Chance unserer Arbeitsgruppe nicht ungenutzt lassen, im Rahmen unserer Maar-Untersuchungen auch einen Beitrag zu einem besseren Verständnis der genetischen und paläogeographischen Zusammenhänge zwischen dem karpatischen Vulkanbogen und den Neogenvulkaniten Ostösterreichs zu leisten.

Radiometrische Altersdaten von Vulkaniten Ostösterreichs sind im Vergleich zum Pannonischen Becken Westungarns relativ selten (STEININGER & BAGDASARJAN, 1977; LIPPOLT, BARANYI & TODT, 1975; KOLMER, 1980a), während von BALOGH et al. 1986 bereits eine monographische Zusammenschau der K/Ar-Altersbestimmungen der pannonischen Basalte Ungarns – beruhend auf nahezu 200 K/Ar-Altersdaten – sowie eine umfassende geologische Interpretation dieser veröffentlicht wurde. Abgesehen von einigen wenigen isolierten Untersuchungen begann eine systematische K/Ar-Altersbestimmung ungarischer Basalte, einer Initiative des Ungarischen Geologischen Dienstes (MÁFI) folgend, im Jahre 1978 am Kernforschungsinstitut der Ungarischen Akademie der Wissenschaften in Debrecen. BORSY et al. (1986) dokumentieren zahlreiche radiometrische Altersbestimmungen im Hinblick auf die Sedimentationsgeschichte des Tapolca-Beckens in Westungarn. Etwa zur selben Zeit wurden auch radiome-

trische Altersbestimmungen an ausgewählten Basaltvorkommen der Mittelslowakei in den Laboratorien des Geologisch Ústav Dionýza Stura in Preßburg und des ATOMKI in Debrecen durchgeführt (BALOGH et al., 1981; KANTOR & WIEGEROVA, 1981). In den Laboratorien der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover wurde von KREUTZER (in MARINESCU et al., 1981) das radiometrische Alter des Basalts von Alsórákos in Rumänien bestimmt.

Sind auch – wie erwähnt – K/Ar-Altersdaten ostösterreichischer basaltischer Gesteine rar, kann hingegen die petrologische Erforschung der österreichisch-ungarischen bzw. pannonischen Vulkanprovinz auf eine lange Tradition zurückblicken, die bis heute anhält. Stellvertretend für eine Vielzahl an Veröffentlichungen seien hier in chronologischer Reihenfolge einige Arbeiten angeführt: UNTCHU (1872); PREISS (1908); LEITMEIER (1909); WINKLER-HERMANN (1913 ff.); JUGOVICS (1916 ff.); SÜMEGHI (1923); FERENCZI (1924); SCHMIDT (1929); KÜMEL (1936); ZIRKL (1952 f.); FINDENEGG (1954); PETRASCHECK (1955); KÜPPER (1957); HERITSCH (1965 f.); FLÜGEL et al. (1952 ff.); SCHARBERT et al. (1981); POULTIDIS & SCHARBERT (1986).

2. Probennahme und Untersuchungsmethoden

Es muß hier nochmals festgehalten werden, daß die Haupt-Zielsetzung unserer Untersuchungen eine Beurteilung der Alginit-Höflichkeit in den basaltvulkanischen Gebieten der Südost-Steiermark und des südlichen bzw. mittleren Burgenlands war und die Probenahme von basaltischen Gesteinen im Hinblick auf die Bestimmung ihrer radiometrischen Alter lediglich nebenbei und unter großem Zeitdruck erfolgen konnte. Dennoch hoffen wir, daß die Proben einigermaßen repräsentativ sind und aus dem frischstmöglichen Material entnommen wurden.

Immerhin konnten wir sechszwanzig Lokalitäten beproben (Abb. 1), wobei von allen Proben eine petrologi-

Abb. 1.
Lokalitäten der untersuchten Proben.

sche Bearbeitung vorliegt und an ausgewähltem Probenmaterial die radiometrischen Alter bestimmt wurden (Tab. 1,2).

Die petrologische Bearbeitung basiert in erster Linie auf der Untersuchung von Dünnschliffen, ferner auch auf chemischen und röntgendiffraktometrischen Methoden sowie auf DTA- und Spektralanalysen (Tab. 3,5).

Der radiogene Ar-Gehalt wurde an auf 0,1–0,5 mm zerkleinertem und homogenisiertem Probenmaterial bestimmt. Die Ausgasung, die Reinigung und Konzentration des freigewordenen Argon wurde mit einer am Kernforschungsinstitut Debrecen konstruierten ^{39}Ar -Spike-Apparatur durchgeführt. Zur Bestimmung der Ar-Isotopenzusammensetzung wurde ein automatisiertes Massenspektrometer, ebenfalls aus eigener Konstruktion verwendet, das einen magnetischen Sektorraum von 90° bei einem Radius von 150 mm aufweist und in statischer Betriebsart arbeitet.

Der K-Gehalt wurde mit Hilfe eines digitalen Flammenphotometers des Typs OE-85 unter Verwendung eines Na-Puffers und eines internen Standards an der für die Ar-Bestimmung homogenisierten Pulverprobe bestimmt. Zur Eichung bzw. zur Kontrolle der K- und Ar-Bestimmungen wurden sowohl die sowjetischen Standards Asia 1/65 als auch die französischen Standards GI-O angewandt.

Die Kalkulation der radiometrischen Alter wurde unter Verwendung folgender Zerfallskonstanten durchgeführt (siehe auch STEIGER & JÄGER, 1977):

$$\lambda_{40\epsilon} = 0,581 \times 10^{-10} \text{y}^{-1}$$

$$\lambda_{40\beta} = 4,962 \times 10^{-10} \text{y}^{-1}$$

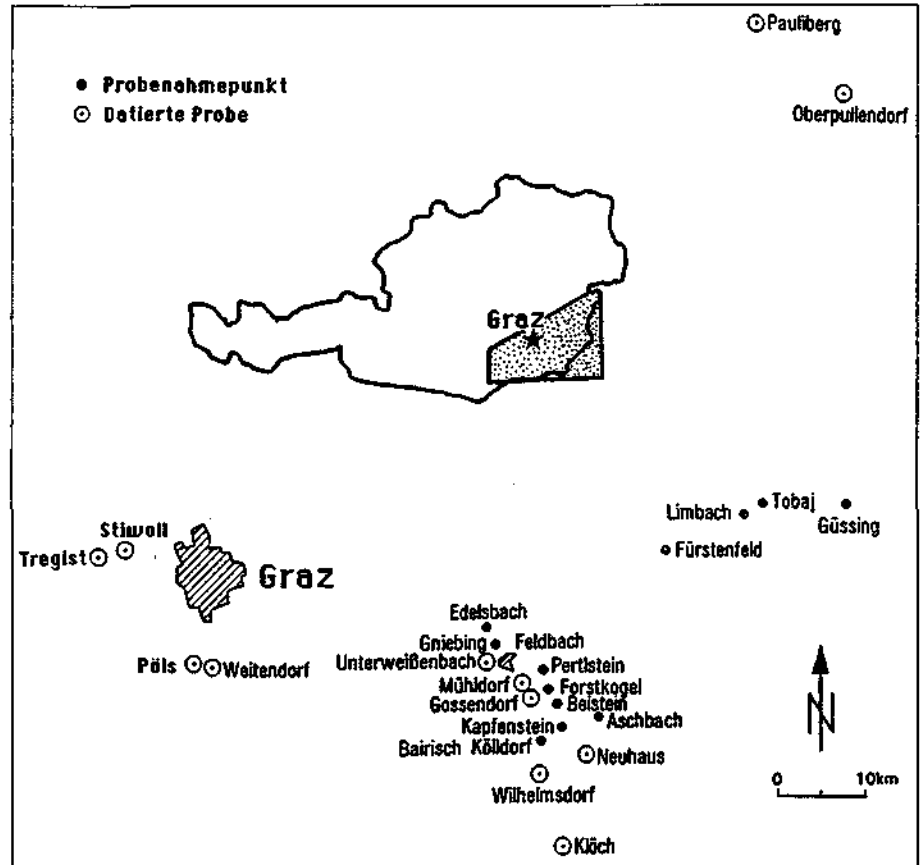
$$^{40}\text{K}/\text{K} = 1,167 \times 10^{-4} \text{ mol/mol.}$$

Eine eingehende Beschreibung der Meßeinrichtungen, Versuchsmethoden sowie die Zuverlässigkeitskontrolle unserer Ergebnisse wird in BALOGH (1985) und ODIN (1982) vermittelt.

Die K/Ar-Datierungen der distalen miozänen Tuffe sind Mineralalter, die an isolierten Biotiten durchgeführt wurden.

3. Das südoststeirisch-südburgenländische Vulkangebiet

Das südoststeirische Vulkangebiet repräsentiert den Westteil des in Westungarn sehr ausgedehnten Vulkangebietes, das dort in seinen Grundzügen wesentlich intensiver erforscht ist und in neuerer Zeit auch durch die Nutzung nichttraditioneller Rohstoffe ("Alginit" sensu JAMBOR & SOLTI, 1975) zusätzliche wirtschaftsgeologische Bedeutung erlangte (SOLTI et al. 1987 ff.). Wie unsere Ausführungen zeigen, können auf österreichischem Staatsgebiet



drei deutlich differenzierte magmatische Bildungszyklen, nämlich ein älter miozäner (Karpats/Baden), jünger miozäner (Pannon) sowie pliozäner bis pleistozäner Vulkanismus unterschieden werden. Hinsichtlich der regionalen Geologie des betroffenen Gebietes stammen die jüngsten Übersichtsarbeiten von FLÜGEL & NEUBAUER (1984), TOLLMANN (1985), KRÖLL et al. (1988) sowie von EBNER & SACHSENHOFER (1991); dort auch weitere Literatur!

Bezüglich geochronometrischer Alter und zugehöriger Chronostratigraphie der zentralen Paratethys beziehen wir uns auf STEININGER et al. (1990).

3.1. Miozäner Vulkanismus

In den Schichtfolgen der Tertiärbecken spielen außer den sauren Pyroklastika des Karpatien und Badeniens und den andesitischen Eruptiva von dazitischer Zusammensetzung auch die an K angereicherten trachytischen Gesteine eine bedeutende Rolle (SCHARBERT et al., 1981; EBNER, 1981).

3.1.1. Weitendorf

Der Latit (Shoshonit) von Weitendorf erregt schon bereits seit mehr als einem Jahrhundert das Interesse der Petrologen, wobei insbesondere auch seine Altersstellung häufig diskutiert wurde (z.B. UNTCHJ, 1872; DREGER, 1902; FLÜGEL et al., 1952; FLÜGEL, 1975; KOLLMANN, 1965; KOLMER, 1980; TOLLMANN, 1985).

Unser Probenmaterial stammt aus dem südöstlichen Steinbruchbereich. Das unmittelbar Liegende des Latits bilden dort Florianer Schichten der Lageniden-Zone des Badeniens (FLÜGEL et al., 1952; HERITSCH, 1967; EBNER & GRÄF, 1977; KRÄINER, 1987). SACHSENHOFER (1990) diskutiert basierend auf den hohen Humit/Vitrinit-Reflexions-

werten eine thermische Beeinflussung für die sedimentäre Basis des Weitendorfer Shoshonits und nimmt Temperaturen von 450–500°C an und folgert:

„... Die Inkohlungsdaten lassen daher eine Platznahme des Vulkanits im heißen Zustand wahrscheinlich erscheinen...“

Diese Deutung läßt eine Eingleitung des Basaltkörpers im erkalteten Zustand eher als problematisch erscheinen (siehe auch DREGER, 1902; FLÜGEL, 1975; MAURITSCH, 1975). Deutliche Anzeichen einer thermischen Beeinflussung wurden auch bereits von FLÜGEL et al. (1952) und KRAINER (1987) angenommen.

Makroskopisch macht das Gestein einen frischen Eindruck, wobei die zahlreichen Hohlräumeauskleidungen von Quarz, Kalzit und Zeolithmineralen gebildet werden. Unter dem Mikroskop erweist sich das Gestein als ein Latit von trachytischem Gefüge mit einer geringen Montmorillonitierung. Die hypidiomorphen Einsprenglinge werden durch diopsidischen Augit, Olivin und Plagioklas repräsentiert; sie stellen gemeinsam mit den Glomeroporphyren 30–35 Massen-% des Gesamtmineralbestands dar. Unter den mittelkörnigen Kristallen überwiegt Olivin und Plagioklas (An_{30-50}) gegenüber dem Pyroxen.

Die Grundmasse besteht aus Plagioklas-Mikrolithen, interstitiellem montmorillonisiertem Augit, meist oxidiertem Magnetit sowie geringen Quantitäten von Olivin und rekristallisiertem Gesteinsglas. Als Akzessorien können noch Apatit und sporadisch Hypersthen bestimmt werden.

Das neue K/Ar-Alter des Latits von Weitendorf ergab $14,0 \pm 0,7$ Mio. Jahre; eine Diskussion der Resultate erfolgt im Kapitel 4.1.

3.1.2. Gossendorf

Im Hangenden des Traßabbaus von Gossendorf, der dem Gleichenberger Stratovulkan-Bereich mit Magmatiten trachytischer Zusammensetzung zugehört, haben wir Proben aus dem makroskopisch frisch erscheinenden Latit entnommen. Dieser zeigt porphyrisches Gefüge und stellenweise ausgeprägte Fluidalstruktur. Unter den Einsprenglingen dominiert nach dem Albitgesetz und komplex verzwilligter Plagioklas (An_{46-48}). Der dominierende Farbsilikatanteil ist Augit. In geringen Mengen treten noch meist montmorillonisierter Hypersthen und Olivin auf, sehr selten auch Biotit. Die Grundmasse besteht aus sauren Plagioklasleisten bzw. aus xenomorphem Sanidin von interstitiellem Gefüge, weiters aus Pyroxen, montmorillonisiertem Olivin, erheblichem Anteil an Magnetit sowie vereinzelt Optaitnadeln.

Das K/Ar-Alter des Latits von Gossendorf ergab $13,0 \pm 1,0$ Mio. Jahre; eine Diskussion der Altersdaten erfolgt im Kapitel 4.2.

3.1.3. Oberpullendorf

Nordwestlich von Oberpullendorf liegt ein aufgelassener und gefällig rekultivierter Steinbruch, der olivintholeitischen Basalt aufschließt. Der liegende massivsäulige Basalt zeigt unter dem Mikroskop nur wenige Einsprenglinge; mittelkörnige Kristalle dominieren, sie zeigen intersertales Gefüge. Die Einsprenglinge sind meist randlich zu Tonmineralen zersetzte Augite, die selten einen karbonatisierten diopsidischen Kern zeigen. Die mittelkörnigen Kristalle werden von Augit (20–25 %) und Olivin (20–22 %) repräsentiert, der von dünnen hämatitischen Bestegen umwachsen ist und geringe Iddingsitisierung aufweist. Auch Plagioklas (An_{56-58}) und Magnetit von isometrischem

Habitus sowie seltener skelettförmig ausgebildeter Ilmenit sind signifikant. Die Matrix wird von Augit, Olivinkristalliten, Magnetit, K-Feldspat, blaßbraunem montmorillonisiertem Gesteinsglas sowie untergeordnet hypidiomorphem Biotit, braunem Amphibol, Apatit und Rutil gebildet.

Das radiometrische Alter wurde mit $11,1 \pm 1,2$ Mio. Jahren gemessen, also unteres Pannon. Eine Diskussion der Altersdaten erfolgt im Kapitel 4.4.

3.1.4. Pauliberg

Der hangende Basalt, der in der oberen Etage des Basaltbruchs des Paulibergs abgebaut wird, ist grobsäulig ausgebildet und zeigt petrologisch große Ähnlichkeit zum Erguß von Oberpullendorf. Unter dem Mikroskop zeigt der Basalt intersertale Struktur. Die seltenen Einsprenglinge bestehen aus Augit und Olivin. Mengenmäßig signifikant sind mikroholokristalline Mineralphasen, insbesondere Pyroxen, weniger Olivin sowie minimale Gehalte an Titanomagnetit und Ilmenit. Blaßbraunes Gesteinsglas ist ebenso in der mikroholokristallinen Grundmasse in sehr geringer Menge anzutreffen. Die Grundmasse macht mehr als 50 % des Gesteinsvolumens aus und besteht aus Plagioklas (An_{35-40}), Ca-Pyroxen in unterschiedlichen Kristallisationsstadien, Olivin, Magnetit, ilmenit, akzessorischem Apatit, interstitiellem K-Feldspat und vereinzelt Biotitkristallen.

Die basale Etage zeigt „Diabas“ (im Sinne der amerikanischen Nomenklatur, also einen knapp unter der Oberfläche erstarrten Magmatit). Unter dem Mikroskop zeigen sich überwiegend mittelkörnige Kristalle von 2,0–3,0 mm, maximal 8,0 mm Größe sowie in kleineren Partien ophitisches bis subophitisches Gefüge. Mehr als die Hälfte des Gesteinsvolumens wird von Feldspat gebildet, der überwiegend xenomorph, tafelförmig oder leistenförmig ausgebildet ist (An_{38-46}); außerdem finden sich porphyrische Plagioklaskristalle, die von K-Feldspat umwachsen sind; auch eigenständige K-Feldspäte treten auf. Der Titanit stellt etwa ein Drittel des Mineralbestands dar, wobei die größeren xenomorphen Kristalle zonaren Aufbau zeigen, die kleineren sind hypidiomorph entwickelt. Die bedeutende Menge an Ilmenit von ca. 10 % und Titanomagnetit ist gelegentlich skelettförmig, meist jedoch nadelig oder hypidiomorph körnig ausgebildet. An Akzessorien finden sich noch nadelförmiger Apatit und feinkörniger Olivin sowie selten etwas zersetzter Biotit. Ein Großteil des Titanomagnetits, Olivins, Biotits und Apatits ist ausschließlich als Einschlüsse in den Plagioklas- und Pyroxenkristallen zu beobachten.

Hinsichtlich der radiometrischen Alter erweist sich der „Diabas“ des Paulibergs als die älteste Bildung unter den mindestens drei aufeinanderfolgenden Lavaergüssen. Sein K/Ar-Alter beträgt $11,2 \pm 1,06$ Mio. Jahre bzw. $11,5 \pm 0,72$ Mio. Jahre, was für basales Pannon bzw. den Sarmat/Pannon-Grenzbereich spricht. Der Basalt des Paulibergs hingegen weist $10,5 \pm 1,0$ Mio. Jahre auf, also pannonisches Alter. Bezüglich weiterer Diskussionen darf auf Kap. 4.3. verwiesen werden.

3.2. K/Ar-Alter distaler miozäner Tuffe

Bentonite und Glastuffe sind im Steirischen Tertiär von über 100 Fundpunktgruppen bekannt (EBNER, 1981; EBNER & GRÄF, 1982). Hinsichtlich ihrer Herkunft ist vor allem ihr Alter, das biostratigraphisch und aus regionalgeologi-

Abb. 2.
K₂O/SiO₂-Diagramm frischer und alterierter Glasaschen und autochthoner Vulkanite des Steirischen Beckens sowie ungarischer mittelmiozäner Tuffe. Vergleichsanalysen aus HÖLLER et al. (1976) und UNGER et al. (1990).

schen Gründen mit Karpat bis Unterbadener angegeben werden kann, von Relevanz (EBNER, 1981). Sie haben damit identisches Alter mit den autochthonen steirischen miozänen Vulkaniten. Es ist daher naheliegend, sie von diesen zu beziehen, wenngleich auch der übrige innerkarpatische Raum nicht ganz außer Acht zu lassen ist.

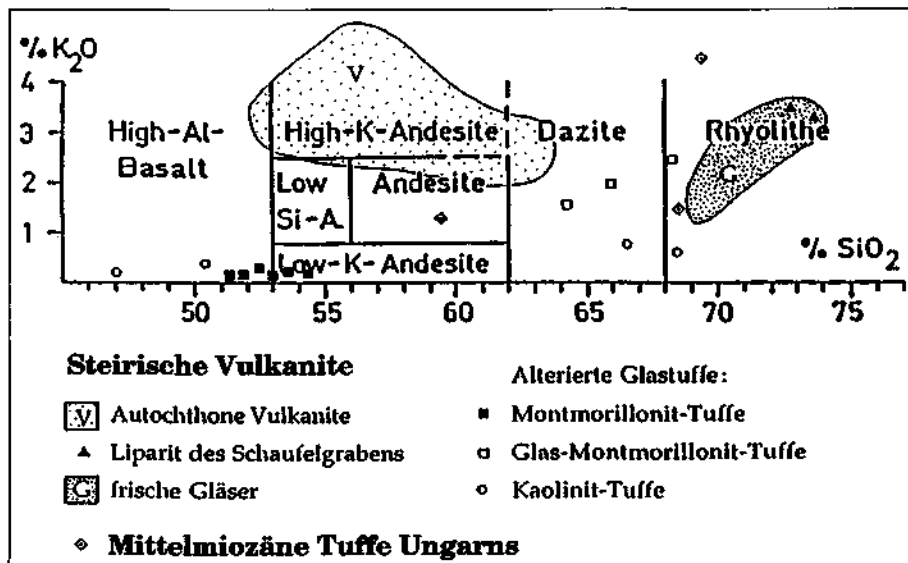
Das SiO₂/K₂O-Diagramm (Abb. 2) zeigt die miozänen autochthonen steirischen Vulkanite deutlich durch ihre hohen K₂O-Gehalte isoliert und nicht mit frischen steirischen Glasaschen (Analysenwerte aus HÖLLER et al., 1976) zu verbinden, deren Chemismus einzig die Rhyolitithe des Schaufelgrabens entsprechen.

Die zu Tonmineralen alterierten Tuffe (Analysenwerte aus HÖLLER et al., 1976) nehmen einen weiten Streubereich ein, der sich zum Teil mit den mittelmiozänen Tuffen Ungarns (Analysenwerte aus UNGER et al., 1990) deckt.

Das Diagramm zeigt aber auch klar, daß bei geochemischen Korrelationen Vorsicht geboten ist und äolische Frachtsonderung, epiklastische Verunreinigungen, unterschiedlicher Alterationsgrad und magmatische Fraktionierungsprozesse zu berücksichtigen sind. Vor diesem Hintergrund kommt der radiometrischen Datierung von Tuffen eine große Bedeutung zu.

Im Rahmen der Kooperation wurden 1986/1987 einige K/Ar-Datierungen an Tuffen und Bentoniten durchgeführt über die trotz nicht zufriedenstellender Ergebnisse an dieser Stelle berichtet wird (Informationen über die Position der Probenpunkte: EBNER, 1981, 1986; EBNER & GRÄF, 1982):

- Probe 1480 (1,2): Pöls/Quellgraben, Florianer Schichten (marin), Unterbadener, Lageniden-Zone. Beide Proben stammen aus zwei durch Klastika voneinander getrennten Bentonitlagen; Probe 2 ca. 100 cm unter Probe 1. Das radiometrische Alter von 15,1±0,5 entspricht annähernd dem biostratigraphischen (KOPETZKY, 1975).
- Probe 1479 (3,4): Tregistsattel E Oberdorf, Eckwirtschotter (limnisch-fluviatil), Unterbadener. Probe 3: Glastuff aus Aufschlußbereich III EBNER & GRÄF (1982: Abb. 14). Probe 4: Glastuff aus Aufschlußbereich IV EBNER & GRÄF (1982: Abb. 13). Probe 3 ergab keinen Alterswert, Probe 4 mit 17,5±2,6 einen großen Streuwert. Die Proben entstammen den Eckwirtschottern, die über dem Kohlentertiär von Köflach/Voitsberg liegen und aus regionalgeologischen Gründen mit Unterbadener eingestuft werden.
- Probe 1478 (5): Stiwill, Eckwirtschotter (limnisch-fluviatil) Unterbadener. Auch diese Glastuff-Probe erwies sich als nicht datierbar.



3.3. Pliozäner Vulkanismus

Der pliozäne Vulkanismus des südsteirischen-südburgenländischen Gebietes stellt die jüngste magmatische aktive Phase in Österreich dar. Das Alter mehrerer bedeutender Basaltvorkommen – wie etwa von Klöch oder der Umgebung von Feldbach – war lange Zeit umstritten (z.B. WINKLER, 1913; KÜPPER, 1957; u.a.). FLÜGEL & NEUBAUER (1984) geben für die Basalte auf Basis von K/Ar-Datierungen, die ebenso von K. BALOGH durchgeführt und bis jetzt aber noch nicht veröffentlicht wurden, ein plio/pleistozänes Alter an. Unsere Daten liefern zusätzliches Material für die Altersdiskussion der Basalte.

3.3.1. Klöch

Die Basalte von Klöch zeigen insbesondere in der Art ihres Auftretens sehr diverse Entwicklungen. Wir finden massige Partien, Säulenbasalte, bankige Typen mit scharfkantig splittrigem Bruch und selten auch Sonnenbrenner („kokkolithischer“ Basalt im Sinne der osteuropäischen Literatur). Lithologisch handelt es sich jedoch überwiegend um Nephelinbasanit, wobei die Sonnenbrenner-Typen sowie die Säulenbasalte eher einem nephelinführenden Basalt nahe stehen.

Der mengenmäßige Anteil an Einsprenglingen schwankt. Demnach ist mikroskopisch ein mikroholokrystallines bzw. porphyrisches, gelegentlich poikilitisches Gefüge entwickelt. Die Einsprenglinge bestehen aus Augit (z.T. Ti-Augit, großteils mit zonarem Aufbau), Olivin, Plagioklas (An₅₆₋₆₈) und Nephelin. Die Kristalle sind skelettförmig bis idiomorph entwickelt.

Die Matrix zeigt Nephelin, Plagioklas, Augit und geringeren Anteil an Magnetit und Ilmenit sowie akzessorischen K-Feldspat, Apatit, basaltische Hornblende, Gesteinsglas, gelegentlich auch Analcim und Epidot. Als sekundäre Porenausfüllungen sind weiters Kalzit und Montmorillonit zu beobachten.

Die K/Ar-Altersbestimmung weist den Basalt von Klöch mit 2,6±1,2 Mio. J. als dem Pliozän zugehörig aus (siehe auch Kap. 4.7.).

3.3.2. Wilhelmsdorf

Der Tephrit des Steinbruchs Wilhelmsdorf im südwestlichen Bereich des Stradner Kogels zeigt einen parallel zu den Absonderungsflächen in Blöcke zerlegten Gesteins-

körper, der wohl als eruptives Produkt betrachtet werden kann.

Die mikroskopische Untersuchung zeigt ein schlecht entwickeltes Intersertalgefüge, wobei etwa dreiviertel von Matrix repräsentiert wird. Die wenigen Einsprenglinge sind weitestgehend idiomorph entwickelt sowie von zonarer Ausbildung. Die mittelkörnige Kristallfraktion und die Pyroxene der Matrix erweisen sich als Ti-Augit. Die Zwischenräume der aus xeno- bis hypidiomorphen Plagioklassen von leistenförmigem Habitus bestehenden Grundmasse erweisen sich als zu ca. 20 % aus Nephelin, 10 % Analcim und meist körnigem Magnetit bestehend. Akzessorisch findet sich basaltische Hornblende mit opazitiertem Rand und nadelförmiger Apatit sowie untergeordnet mittelkörniger Olivin.

Das K/Ar-Alter weist den Tephrit von Wilhelmsdorf mit $1,71 \pm 0,72$ Mio. J. als dem Bereich oberes Pliozän/basales Pleistozän zugehörig aus. Die Diskussion der Altersdaten findet sich in Kap. 4.8.

3.3.3. Neuhaus

Das K/Ar-Alter wurde an zwei Proben aus der Umgebung von Neuhaus bestimmt. Eine vulkanische Bombe wurde auf der Plateauflur des aus Tuff bestehenden Neuhauser Burgberges zur Analyse aufgegeben; eine Basaltprobe wurde im südwestlich von Steinleiten liegenden Straßeneinschnitt genommen.

Die erwähnte Bombe von der Neuhauser Burgberg-Plateauverebnung besteht aus feldspatführendem Olivinbasalt. Sie ist in einen Gesteinstrümmer-Glastuff eingebettet, der sich aus Olivin, Amphibolbasalt und Lithoklasten von kalkig/tonigen Sedimenten sowie aus Kristallfragmenten von Quarz, Leuzit und Biotit zusammensetzt. Das Gestein zeigt deutlichen Verwitterungseinfluß. Die relativ frischer erhaltenen Partien zeigen hyalopilitisches Gefüge, meist von geringem Kristallisierungsgrad. Die seltenen Einsprenglinge und die farbigen Silikate der Grundmasse bestehen zu etwa gleichen Anteilen aus Olivin bzw. Augit, der oft iddingsitisiert bzw. montmorillonitisiert, seltener chloritisiert ist sowie einigen meist idiomorph ausgebildeten Nephelinen. Die Grundmasse besteht aus Gesteinsglas, schlecht entwickelten Plagioklasleisten und Magnetitkristallen. Die Zwickel werden von Analcim, Kalzit und Tonmineralien ausgefüllt.

Der Basalt des oben erwähnten Straßeneinschnittes bei Steinleiten erweist sich als Effusivgestein von schlecht entwickelter Intersertalstruktur mit nur wenigen großen Augit-Einsprenglingen. Die mittelkörnigen Kristalle bestehen überwiegend aus Augit; Olivin ist seltener. Ein geringer Teil des Olivins kann eher der Grundmasse zugerechnet werden; dieser erweist sich meist als iddingsitisiert oder chloritisiert. Sporadisch findet sich auch Hypersthen. Die Matrix besteht aus sauren Plagioklasleisten, farbigen Silikatkralliten, Gesteinsglas und opaken Körnern. Die Wände winziger Hohlräume werden von Analcim ausgekleidet; das Restlumen der Hohlräume wird von Kalzit, seltener von Aragonit erfüllt.

Das K/Ar-Alter der Bombe von Neuhaus beträgt $3,11 \pm 0,75$ Mio. J., jenes des Basalts von Steinleiten $3,7 \pm 0,5$ Mio. J.; dies bedeutet etwa Daz/Roman-Grenzbereich. Die Problematik dieser Altersdatierungen wird in Kap. 4.6. diskutiert.

3.3.4. Mühlendorf

Der in fünf Abbauetagen angelegte Steinbruch von Mühlendorf bei Feldbach zeigt lithologisch recht vielseitig entwickelte Gesteinstypen, wie säulenförmige, sphäri-

sche oder dünnbankige Basanite, auch vom Sonnenbrennertyp, bzw. von blasiger oder schlackiger Struktur.

Zur radiometrischen Altersbestimmung wurde eine Probe aus dem Nephelinbasanit von der NO-Bruchflanke, gleich bei der Einfahrt in den Abbau entnommen sowie weitere zwei Proben aus dem Säulen„basalt“ der Steinbruch N-Seite.

Der Nephelinbasanit zeigt Intersertalstruktur mit geringem Gehalt an blaßbraunem Gesteinsglas und geringem Anteil an gut erhaltenen porphyrischen Gemengteilen. Ti-Augit bildet sowohl die Einsprenglinge, als auch einen kleinen Teil der mittelkörnigen Kristalle, letztere werden überwiegend von Olivin repräsentiert, der meist idiomorph ausgebildet ist. Die Grundmasse besteht aus Plagioklasleisten (An_{52-60}), aus säuligem Augit, gedrunenem säulenförmigen Nephelin, Titanomagnetitkristallen sowie aus einer geringen Menge von K-Feldspat und Apatit.

Der Säulen„basalt“ kann aufgrund seines 10 %igen Nephelingehtes als Übergangstyp von Nephelinbasanit zu Nephelinbasalt betrachtet werden. Dieser zeigt intersertales bzw. untergeordnet auch poikilitisches Gefüge mit wenigen Einsprenglingen, aber hohem Anteil an mittelkörnigen Kristallen. Ti-Augit bildet sowohl hypidiomorphe Einsprenglinge als auch mittelkörnige Kristalle, daneben tritt noch Olivin auf. Die Grundmasse besteht zur einen Hälfte aus Ti-Augit, zur anderen aus gut entwickelten Plagioklasleisten (Andesin-Labradorit) sowie aus hypidiomorphen Magnetitkristallen, akzessorischem Apatit sowie einigen wenigen braunen Amphibolen. Die Zwischenräume sind von Nephelin erfüllt. Die poikilitischen Gefüge in den Nephelinkristallen sind auf Inklusionen von Plagioklas, Augit und Magnetitkristallen zurückzuführen.

Das K/Ar-Alter aller drei Proben von Mühlendorf ist mit $2,64 \pm 0,55$ Mio. J.; $3,05 \pm 1,4$ Mio. J. bzw. $2,38 \pm 0,18$ Mio. J. Roman. Zur Diskussion dieser Altersdaten siehe Kap. 4.5.

3.3.5. Unterweissenbach

Eine vulkanische Bombe, die in der unteren Etage des aufgelassenen Tuffabbaus Unterweissenbach gesammelt wurde, erweist sich als Basalt von frischer Erhaltung und gut ausgeprägtem intersertalem Gefüge. Die idiomorphen Einsprenglinge und auch die gut auskristallisierten mittelkörnigen Kristalle bestehen aus Augit-Zwillingen, oft von zonarer Struktur; Olivin tritt nur in geringen Mengen auf. Die Hauptmasse des Feldspats besteht aus Plagioklas, der albitisch- oder komplex verzwilligt ist und leistenförmigen Habitus zeigt (An_{38-55}); dieser mit K-Feldspat, der auch sporadisch in Zwischenräumen auftritt, vergesellschaftet. Großteils hypidiomorph entwickelter Magnetit stellt die opake Mineralphase dar.

Mit einem K/Ar-Alter von $2,27 \pm 0,17$ Mio. J. gehört die Basaltbombe von Unterweissenbach dem Roman an. Zur Diskussion dieser Einstufung siehe Kap. 4.9.

3.4. Petrologische Kurz-Charakterisierung weiterer Vulkanite des Steirischen und Südburgenländischen Beckens

In der Folge sollen noch Ergebnisse petrologischer Untersuchungen von neogenen Vulkaniten mitgeteilt werden, von denen keine radiometrischen Altersbestimmungen vorliegen, bzw. von denen sich das – zumindest von uns aufgesammelte – Material nicht dafür eignet.

3.4.1. Vulkanite der weiteren Umgebung von Feldbach und Bad Gleichenberg

3.4.1.1. Unterweissenbach

Der Basaltuff des zuvor erwähnten aufgelassenen Tuffabbaues erweist sich als mittelkörniges, lithoklastisches Gestein, wobei die Lithoklasten aus Analcimbasalt, Tephrit, Pyroxenbasalt, Analcimbasanit sowie geringen Mengen an Kalkstein- und Mergelklasten bestehen. An Kristallfragmenten zeigen sich Leuzit, Augit, Plagioklas, Olivin, Sanidin, zersetzter Biotit, Epidot, Muskowit und Quarz.

3.4.1.2. Bairisch Kölldorf

Ein Straßeneinschnitt zeigt grobkörnigen Basaltuffit. Basaltogene Lithoklasten überwiegen, wobei unter diesen opazitierte, hyalopilitische Gefügetypen über intersertale und blasige Ausbildungen dominieren. Unter den sedimentären Klasten sind metamorphe Quarzite dominant; daneben zeigen sich schieferige Tone und siltige Tongesteine sowie sporadisch Kalkmergel und Glimmerschiefer. An Kristallfragmenten finden sich Augit, Olivin, Plagioklas sowie in großen Mengen die Tonminerale Montmorillonit und Illit; selten kommen Hypersthen, Sanidin und Chlorit vor sowie lediglich sporadisch Biotit, Granat und Spinell.

3.4.1.3. Kapfenstein

Der Straßeneinschnitt an der Südflanke des Kapfensteiner Burgberges zeigt Basaltuffit. Quarzklasten von Kies- und Sandkorngröße dominieren den Sedimentgesteinsanteil, daneben findet sich noch untergeordnet siltiger Tonstein, Kalk- und Dolomitstein. Kristallbruchstücke von vulkanoklastischer Herkunft rühren überwiegend von Olivin und Augit her, daneben gibt es etwas Plagioklas, sporadisch auch braunen Amphibol, Hypersthen, Diopsid, Nephelin, Biotit und Spinell. An Lithoklasten dominiert hyalopilitischer Augitbasalt, daneben etwas Olivinbasalt sowie untergeordnet hyalopilitische Varianten von fluidaler Struktur und blasigem Gefüge.

3.4.1.4. Aschbuch

Ein Straßeneinschnitt bei Aschbuch zeigt stark zersetzte Lapilli (montmorillonitisiert, karbonatisiert, chloritisiert), die in quarzkiesigem Basaltuff stecken. Die Lapilli können als olivin-tholeitischer Basalt mit opazitiertem Gesteinsglas und von hyalopilitischem Gefüge angesprochen werden.

3.4.1.5. Forstkogel

Der Steinbruch Forstkogel zeigt stark zersetzten Lapilliführenden Basaltuff. Die Lithoklasten sind teils karbonatisiert, montmorillonitisiert, verquarzt, chalzedonisiert, limonitisiert und/oder zeolithisiert und weisen z.T. auf Ergußgesteins-Herkunft von schlackigem Gefüge hin, z.T. auf ein ehemals hyalopilitisches Gestein. An Kristallbruchstücken finden sich Augit, Olivin, Andesin und Plagioklas.

3.4.1.6. Pertlstein

Der von VETTERS (1977) dokumentierte Steinbruch Pertlstein zeigt einen an Lithoklasten reichen Basaltuffit. Die Basaltklasten zeigen hyalopilitische bzw. schlackige Struktur. Weiters findet sich Basaltglas von typischer dunkelbrauner Farbe. Die blasigen Hohlräume werden von se-

kundären Mineralen ausgekleidet bzw. ausgefüllt, wie z.B. von Chalzedon, Kalzit, Tonmineralien, sporadisch auch Leuzit. Die Hauptmasse des Gesteins besteht aus Augitbasalt, untergeordnet etwas Olivinbasalt. An sedimentären Lithoklasten finden sich Karbonate, Quarzsand, sporadisch Mergel, schieferiger Quarzit und Silt. Die phytogenen Klasten – wie fossile Baumstämme, Holzreste, etc. – wurden von VETTERS (1977) besonders hervorgehoben. An Kristallbruchstücken finden sich Quarz, Muskowit und Biotit.

3.4.1.7. Gniebing

Ein Straßeneinschnitt bei Gniebing zeigt feinkörnigen Basaltuff. Der Großteil der Klasten besteht aus Basalt, daneben findet sich auch Quarzsand und -kies. Hyalopilitischer Augitbasalt dominiert, fluidale Typen sind seltener und blasige Lithoklasten mit Analcimausfüllungen treten nur sehr minimal in Erscheinung. An Kristallklasten ist Augit dominierend und mit abnehmender Häufigkeit folgen brauner Amphibol, Olivin, Biotit und Leuzit. Das Bindemittel bildet montmorillonitisiertes vulkanisches Glas in dem zahlreiche serizitisierte Plagioklasmikrolithen beobachtet werden können.

3.4.1.8. Edelsbach

Ein Straßenaufschluß bei Edelsbach zeigt Lapilli-führenden Basalt. Die gut kristallisierten Phasen des zersetzten Basalts sind z.T. chloritisiert, z.T. tonig zersetzt. Seine Blasenräume sind von Kalzit, Chalzedon und Quarz von Mosaikgefüge ausgefüllt. In der glasigen Matrix dominiert limonitisierter Magnetit und leukoxenierter Ilmenit. Plagioklas kommt nur in der Grundmasse in Form völlig montmorillonitisierter Mikrolithen vor. Die Einsprenglinge und mittelkörnigen Kristallphasen bestehen überwiegend aus idiomorphem bzw. hypidiomorphem Augit – insbesondere Ti-Augit – sowie untergeordnet Olivin, braunem Amphibol und Biotit.

3.4.2. Vulkanite der weiteren Umgebung von Fürstenfeld und Güssing

3.4.2.1. Fürstenfeld

Der Stadtberg von Fürstenfeld besteht aus lithoklastischem Basaltuffit, meist von hellbrauner oder braungelber Farbe; auch existieren Varianten mit hyalopilitischem dunklem Gesteinsglas, weniger häufig finden sich Basaltklasten von intersertaler, fluidaler Struktur. Palagonitische Klasten sind sehr selten. An farbigen Silikaten sind Augit, brauner Amphibol und Olivin zu beobachten sowie an Kristallbruchstücken (außer den bereits zuvor erwähnten) noch sporadisch Sanidin, Granat, Spinell; in großen Mengen ferner Quarz, Muskowit, Chlorit und Biotit. Die Matrix des Tuffits bilden Tonmineralien in denen sich Nester von Kalzit und Dolomit befinden.

3.4.2.2. Limbach

Der Steinbruch von Gründelsberg zeigt grobkörnigen litho- und kristalloklastischen Basaltuffit. Die dominierenden Lithoklasten sind blasige Basaltfragmente mit Schaumlava-Struktur, weniger häufig finden sich hyalopilitische Augit- und Olivinbasaltklasten. Das Gesteinsglas des Pyroxenbasalts ist nur teilweise opazitiert; im Olivinbasalt ist es praktisch opak. Im Gesteinsglas finden sich Mikrolithen von Augit und zersetztem Plagioklas. An sedi-

mentären Klasten findet sich Quarzsand und Kies. Die Blasen Hohlräume der Basalte sind zumeist nicht ausgekleidet und nur selten finden sich Hohlräumfüllungen von Karbonat oder Tonmineralien. Die Matrix besteht aus Tonmineralien mit hohem Serizitanteil sowie Quarzsilt.

3.4.2.3. Tobaj

Der Kalvarienberg von Tobaj zeigt grobkörnigen Basalttuffit mit Lapillis. Die vulkanoklastischen Körner zeigen hyalopilitisches Gefüge von meist grünlicher Farbe, auch blaßbraunes Gesteinsglas, das unterschiedlich stark opazitisiert oder montmorillonitisiert ist. Klasten blasiger Basalte sind seltener. Weitere Lithoklasten bestehen aus Aktinolith-Epidot-Quarzschiefer, glimmerigem Quarzit, Kalkstein, Mergel, Siltstein, Sandstein. An hypidiomorphen Einsprenglingen finden sich Augit, sehr wenige braune Amphibole und noch weniger Plagioklas. An Kristallklasten konnten beobachtet werden: viel Quarz, Muskowit, Serizit und brauner Amphibol, weniger häufig Augit und nur sporadisch Granat, Spinell und Epidot. Das Bindemit-

tel besteht überwiegend aus Tonmineralien, die als Zersetzungserzeugnis vulkanischen Glases erachtet werden.

3.4.2.4. Güssing

Der Schloßberg von Güssing besteht ebenso aus Lapilli-führendem lithoklastischem Basalttuffit. Der überwiegende Anteil der Klasten sind hyalopilitischer und blasiger Basalt. An Kristallbruchstücken finden sich Augit und wenige Einsprenglinge von Plagioklas und Nephelin sowie nicht selten Plagioklas-Mikrolithen. Der Hauptteil des Gesteinsglases ist von blaßbrauner Farbe. Weiters finden sich in der montmorillonitischen Matrix zahlreiche Klasten von Quarz, Muskowit, weniger Sanidin, zersetzter Biotit und nur sporadisch Titanomagnetit eingebettet.

4. Diskussion der geochronologischen Aussagen der K/Ar-Messungen

Bevor wir unsere Altersdaten kurz kommentieren, sei vorweggenommen, daß einerseits noch weitere Kontroll-

Tabelle 1.
K/Ar-Alter von tertiären Vulkaniten der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlandes.
Proben leg. Cs. RAVASZ, G. SOLTI & H. LOBITZER.

Interne ATOMKI-K/Ar Analysen-Nr.	Probenpunkt (siehe Erläuterungen)	Petrologie (siehe Erläuterungen)	K	⁴⁰ Ar (rad)		K/Ar-Alter
			[%]	[cc STP/g]	[%]	[Mio. J.]
1704	1 Weitendorf	Latit	2,415	1,314 × 10 ⁻⁶	36	14,0 ± 0,7
1514	2 Gossendorf	Latit	4,171	2,156 × 10 ⁻⁶	19	13,2 ± 1,0
1522	3 Oberpullendorf	Olivintheilitischer Basalt	1,118	4,816 × 10 ⁻⁷	13	11,1 ± 1,2
1518	4/1 Pauliberg	Olivintheilitischer Basalt	1,279	5,276 × 10 ⁻⁷	16	10,5 ± 1,0
1701	4/2 Pauliberg	Diabas	1,977	8,503 × 10 ⁻⁷	62	11,0 ± 0,5
			0,649	3,118 × 10 ⁻⁷	16	12,3 ± 1,1
			2,717	1,241 × 10 ⁻⁶	86	11,7 ± 0,4
1517	5 Klöch	Nephelinbasanit	1,36	1,350 × 10 ⁻⁷	3	2,56 ± 1,2
1516	6 Wilhelmsdorf	Tephrit	1,846	1,223 × 10 ⁻⁶	3,3	1,71 ± 0,72
1707	7/1 Neuhaus	Feldspatvertreter-Olivin-Basalt	1,324	1,599 × 10 ⁻⁷	6	3,11 ± 0,75
1698	7/2 Neuhaus	Basalt	1,378	2,016 × 10 ⁻⁷	13	3,76 ± 0,41
1513	8/1 Mühldorf	Nephelinbasanit	1,892	1,937 × 10 ⁻⁷	7	2,64 ± 0,55
1520	8/2 Mühldorf	Nephelin-führender Säulenbasalt	1,94	2,304 × 10 ⁻⁷	3	3,05 ± 1,4
780	9 Unterweißenbach	Basalt	1,88	1,655 × 10 ⁻⁷	21	2,27 ± 0,17

Erläuterungen zu den Proben-Nummern (gilt auch für die Tabellen 3, 4, und 5)

- 1) Weitendorf.
Latit der SW-Ecke des unteren Steinbruchniveaus.
- 2) Gossendorf.
Latit, Hangendniveau des Trassabbaus.
- 3) Oberpullendorf.
Säulenbasalt des unteren Niveaus des aufgelassenen Steinbruchs.
- 4) Pauliberg.
Probe 4/1: Basalt des hangenden Abbaureals.
Probe 4/2: Diabas der Abbausohle.
- 5) Klöch.
Nephelinbasanit vom Süden des liegenden Abbaubereiches.
- 6) Wilhelmsdorf.
Tephrit der Steinbruchsohle.
- 7) Neuhaus.
Probe 7/1: Vulkanische Bombe aus Tuff und Olivinbasalt vom Burgberg.
Probe 7/2: Basalt von einem Straßenaufschluß an der SW-Flanke von Steinleiten, an der Straße nach Klöch.
- 8) Mühldorf, Steinbruch Steinberg.
Probe 8/1: Nephelinbasanit an der NE-Abbauwand der Bruchsohle, gleich beim Steinbrucheingang.
Proben 8/2 und 8/3: Nephelinführender Säulenbasalt der Steinbruch-Nordwand.
- 9) Unterweißenbach, Aufgelassener Steinbruch etwa 2 km von Feldbach, an der Abzweigung nach Gnas.
Probe 9/1: Vulkanische Bombe aus Basalt aus dem hangenden Bruchbereich.
- 10) Tuffit-Aufschluß an einem Straßeneinschnitt nördlich Bairisch Kölldorf, in ca. 500 m Seehöhe gelegen.
- 11) Kapfenstein.
Tuffit an einem Straßeneinschnitt an der Südflanke des Burgbergs, etwa 150 m von der Kreuzung des in die Burg führenden Weges.
- 12) Aschbuch.
Vulkanische Bombe aus Tuff, Olivinbasalt an einem Straßenaufschluß nördlich der Ortschaft.
- 13) Forstkogel.
Tuff-Bruch an der Straße etwa 2 km südlich Pertstein.
- 14) Pertstein.
Aufgelassener Tuffabbau.
- 15) Gniebing.
Straßenaufschluß im Tuff.
- 16) Edelsbach.
Straßenaufschluß; Basaltlapilli im Tuff.
- 17) Fürstenfeld.
Tuff am Südhang des Stadtberges.
- 18) Limbach.
Tuffabbau bei Gründelsberg, an der Ostflanke des Talkopfes.
- 19) Tobaj.
Tuffit vom Nordhang des aufgelassenen Steinbruchs am Kalvarienberg.
- 20) Güssing.
Tuffit-Aufschluß an der Flanke des Schloßberges.

Tabelle 2.
K/Ar-Alter von Biotiten distaler miozäner Tuffe.
Proben leg. F. EBNER, 1986.

Interne ATOMKI-K/Ar-Analysen-Nr.	Probennummer	K	⁴⁰ Ar (rad)		K/Ar-Alter	
		[%]	[cc STP/g]	[%]	[Mio. J.]	
1478	Stiwoll No. 5	1,05				
1479	Tregistsattel No. 3	2,41				
	Tregistsattel No. 4	3,22	2,207 × 10 ⁻⁶	10	17,5 ± 2,6	
1480	Pöls No. 1	5,23 5,19	5,21	3,376 × 10 ⁻⁶	60	16,6 ± 0,6
	Pöls No. 2	6,68 6,56	6,62	3,957 × 10 ⁻⁶ 3,847 × 10 ⁻⁶	53 40	15,3 ± 0,6 14,9 ± 0,7

messungen absolut notwendig erscheinen und andererseits die Altersdaten auch noch einer Einbindung in den regionalgeologischen Rahmen des Steirischen Beckens bzw. des südburgenländischen Raumes bedürfen.

Die Erfahrung mit K/Ar-Untersuchungen an ungarischen Basalten zeigt, daß ein Großteil der radiometrischen Altersdaten als geologisches Alter angesehen werden kann. Die häufigste Fehlerquelle ist der Überschußgehalt an Ar der Basalte. Diese Überschußgehalte an Ar erklären sich damit, daß einige Basalte bei ihrer Erstarrung die im Laufe ihrer frühen genetischen Stadien angesammelten radiogenen Ar-Gehalte nicht zur Gänze abgegeben hatten, d.h. daß die K/Ar-Uhr bei ihrer Erstarrung nicht auf Null stand. Im allgemeinen kann das Vorhandensein von radiogenem Überschuß-Ar unter Verwendung von Isochronenverfahren nachgewiesen werden. Im günstigsten Fall stimmen die Isochronen-Alter sogar auch bei Überschuß-Ar mit dem geologischen Alter überein. Das Isochronen-Verfahren kann entweder auf verschiedene Proben, die aus gleichaltrigen Formationen identischer genetischer Herkunft stammen, angewandt werden, oder aber auch auf verschiedene Bereiche von unterschiedlicher chemischer und mineralogischer Zusammensetzung einer einzigen Probe. Ist der K-Gehalt dieser Proben bzw. Probenbereiche nahezu gleich, so ergeben im ⁴⁰Ar/³⁶Ar-K/³⁶Ar-Diagramm die Proben von gleichem radiogenem Ar-Gehalt, aber einer unterschiedlichen atmosphärischen Ar-Menge, eine Punktreihe entlang einer Geraden, welche aber keine Isochrone repräsentiert, sondern eine „Mischungslinie“, die jedoch falsche „Altersdaten“ anzeigt, die die tatsächlichen geologischen Alter überschreiten. Es sind deshalb die Isochronen Alter nur dann zuverlässig, wenn sich im K-Gehalt der Proben bzw. Probenbereiche bedeutende Unterschiede zeigen. Unsere Meßergebnisse werden in Tabelle 1 dargestellt.

Bei der Datierung der distalen Tuffe, die an isolierten, idiomorphen Biotitplättchen durchgeführt wurden, wirkte sich der niedrige K-Gehalt der Biotite nachteilig aus. Die geringe Verfügbarkeit an radiogenem Ar bedingt einen großen analytischen Fehlerbereich bis zur Nichtdatierbarkeit der Proben. Eine als Fernziel anzustrebende altersmäßige Trennung distaler karpatischer und badenischer Tufflagen dürfte aus diesen Gründen mit der K/Ar-Methode nur schwer durchführbar sein. Die Meßergebnisse sind in Tab. 2 dargestellt.

4.1. Weitendorf

Das Alter des Latits von Weitendorf wurde bereits von mehreren Laboratorien untersucht. LIPPOLT et al. (1975) teilen 15,2 ± 0,9 Mio. Jahre mit, während im Laboratorium

von Jerewan (BAGDASARJAN in STEININGER & BAGDASARJAN, 1978) 16,8 ± 0,75 Mio. J. an der Bruchsohle bzw. 16,0 ± 0,3 Mio. J. in der oberen Etage gemessen wurde. Diese Autoren diskutieren auch eingehend den geologischen Rahmen; es soll daher nur auf Veröffentlichungen neueren Datums eingegangen werden.

Im Gegensatz zu EBNER & GRÄF (1977), die neben einer reichen Makrofauna eine nur sehr artenarme Mikrofauna beschreiben, konnte KRAINER (1987) eine recht diverse Foraminiferen- (u.a. mit *Orbulina suturalis*) und Ostracodenfauna bestimmen. Dies spricht für Obere Lagenidenzone des Badenien, was im Gegensatz zur älteren radiometrischen Altersbestimmung von STEININGER & BAGDASARJAN (1977) steht.

Das von LIPPOLT et al. (1975) gemessene radiometrische Alter des Shoshonits stimmt jedoch exakt mit den Altersvorstellungen von KRAINER (1987) überein, während unsere Messungen etwas jüngerer Alter ergeben. Unsere Meßergebnisse von 14,0 ± 0,7 Mio. J. sind etwas jünger als die Daten von LIPPOLD et al. (1975). Hingegen ist die sehr gute Übereinstimmung des in den beiden Laboratorien gemessenen radiogenen Ar-Gehaltes von 1,314 × 10⁻⁶ cm³/g bzw. 1,30 × 10⁻⁶ cm³/g interessant.

Der Altersunterschied ergibt sich demnach aus dem unterschiedlichen K-Gehalt, wobei dieser Umstand die Frage aufwirft, ob die Unsicherheit in den radiometrischen Altersbestimmungen eventuell auf stellenweise nachträglich in den Gesteinskörper eingebaute K-Gehalte zurückzuführen sei.

Grundlegend für die Altersinterpretation des Weitendorfer Gesteins ist die Frage nach der Platznahme des Vulkanitkörpers (vgl. dazu FLÜGEL, 1975; MAURITSCH, 1975; KRAINER, 1987; EBNER & SACHSENHOFER, 1991). Folgende Möglichkeiten bestehen nach Wegfallen der Interpretation als pliozäner Sill (WINKLER-HERMADEN, 1939):

- Eingleitung im erkalteten Zustand (= Abkühlung unter Curiepunkt für Titanomagnetit = 400–500°C; MAURITSCH, 1975),
- submariner Ausfluß,
- sillartiges Eindringen innerhalb unverfestigter Sedimente im Nahbereich der Sediment/Wassergrenze (KRAINER, 1987).

Biostratigraphische Datierungen aus der Unterlage (obere Lageniden-Zone) und Überlagerung (Baden), Frittings- und Bleichungserscheinungen (FLÜGEL et al. 1952; KRAINER, 1987) und hohe Vitrit-Reflexionswerte (bis 3,2 % Rr; SACHSENHOFER, 1990; EBNER & SACHSENHOFER, 1991) deuten dabei auf eine thermische Beeinflussung des Sediments und damit einer heißen Platznahme des Vulkanits. Daraus leitet sich ein Maximalalter mit oberer Lageniden-Zone ab.

4.2. Gossendorf

Das am Latit von Gossendorf in Probe No. 1514 gemessene radiometrische Alter von $13,2 \pm 1,0$ Mio. J. kann zwar unter Berücksichtigung des frischen Erhaltungszustands der Gesteinsprobe meßtechnisch als korrekt angesehen werden, stimmt jedoch nicht mit den bisherigen geologischen Vorstellungen überein.

Interessant und problematisch für radiometrische Altersdatierungen sind starke hydrothermale postvulkanische Zersetzungserscheinungen innerhalb der Gleichenberger Eruptivmasse, die zu weitverbreiteter Bildung von Alunit- und SiO_2 Phasen führten (BARTH-WIRSCHING et al. 1990). In diesem Zusammenhang erscheint es zweckmäßig auf die nicht übereinstimmenden Altersdatierungen innerhalb der Gleichenberger Vulkanite hinzuweisen:

KOLMER, 1980: $22,97 \pm 1,93$ (Rb/Sr-Alter)

LIPPOLT et al. 1975: 14,6

STEININGER & BAGDASARJAN, 1977: $16,3 \pm 0,9$; $15,5 \pm 0,1$

Diese Arbeit: $13,2 \pm 1,0$

Bei einer uneingeschränkten Akzeptanz dieser Alterswerte würde daraus eine vulkanische Aktivität im ältesten Miozän (Eger/Eggenburg), im Karpat/Baden und Oberbaden/Sarmat resultieren. Traditionell und aus geologisch-paläontologischen Gründen (vgl. KOLLMANN, 1965; FLÜGEL & NEUBAUER, 1984; EBNER & SACHSENHOFER, 1991, cum lit.) wird jedoch ein Karpat-Unterbaden-Alter angenommen.

4.3. Pauliberg

Aus den obigen Ausführungen kann geschlossen werden, daß die im „Diabas“ vom Pauliberg (Probe No. 1701) gemessenen Altersdaten am zuverlässigsten sind. Die Abweichung der an der Gesamtprobe und an zwei Probenbereichen gemessenen Altersdaten ist nicht signifikant und als Folge davon sind auch die beiden isochronen Alter praktisch identisch ($11,5 \pm 0,72$ Mio. J. bzw. $11,2 \pm 0,06$ Mio. J.). Aufgrund dieser Daten und Überlegungen kann das Erstarrungsalter des „Diabases“ vom Pauliberg mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf 11,5 Mio. Jahre geschätzt werden, d.h. Grenzbereich Sarmat/Pannon. Am Pauliberg finden sich nur im Liegenden der Vulkanite Sedimente, die nach KÜPPER (1957) dem Untersarmat angehören.

4.4. Oberpullendorf

Ein ähnliches Alter wurde auch am Basalt von Oberpullendorf (Probe Nr. 1522) gemessen. Während der Untersuchung mußte festgestellt werden, daß der Gasgehalt dieser Probe sehr hoch ist; demnach hätte auch die Anwesenheit einer größeren Überschuß-Ar-Menge keine Überraschung bereitet. Wir halten die gemessenen Altersdaten jedoch für zuverlässig, weil sie sehr ähnlich jenen des Basalts vom Pauliberg sind und erachten beide Basaltergüsse für gleichaltrig.

Am Basalt von Oberpullendorf wurde in den Aufschlüssen bei Stob sowohl eine Unter- als auch eine Überlagerung durch Sedimente festgestellt; beide Serien sind fossilifer und können nur durch Verknüpfung mit weit entfernten Fundpunkten eingestuft werden. KÜMEL (1936) deutet die hangenden Sedimente und folglich auch den Basalt selbst als sarmatisch. KÜPPER (1957) verbindet sie auf Grund von durch WOLETZ durchgeführten Schwermineraluntersuchungen mit fossilführendem Pannon am Nordteil des Oberpullendorfer Beckens. Ebenfalls auf Grund von Schwermineraluntersuchungen, durchgeführt von K. SCHOKLITSCH (1962), nimmt WINKLER-HERMADEN (1962)

einen Zusammenhang der postbasaltischen Serie mit Sedimenten an, die bei Csörgetömajör (Ungarn) durch einen Säugerfund ins Daz eingestuft wurden (E. SZADECKY-KARDOSS, 1938). Für ein junges Alter der Basalte selbst führt er an, daß die Rotfärbung der unterlagernden Sedimente nicht durch Rotbrennung (KÜMEL, 1936), sondern durch Verwitterung entstanden sei (WINKLER-HERMADEN, 1962). In einer mineralogischen Untersuchung durch MÜLLER & SCHWAIGHOFER (1979) wurden beide Phänomene nachgewiesen. Eine längere Erosionsphase vor Ausbruch der Basaltlaven scheint auch erwiesen durch die auf Bohrergebnissen beruhende Feststellung von PISO (1970), daß sich der Basalt in „ein sehr welliges Relief“ ergossen hätte. Das kann allerdings nicht als Nachweis eines pliozänen Alters des Basalts betrachtet werden, da eine lückenlose Sedimentation während des Sarmats und Pannons in diesem fast völlig fossiliferen Gebiet nicht dokumentiert ist.

4.5. Mühldorf

Von den drei Proben aus dem Basaltabbau Mühldorf, konnte von den beiden Proben No. 1513 und 1520 das Alter aufgrund eines hohen atmosphärischen Ar-Gehaltes nur mit großem Unsicherheitsfaktor bestimmt werden. Als Folge des nahezu identischen K-Gehaltes der Proben bot sich nur die Möglichkeit der Anwendung des isochronen $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -K/ ^{39}Ar -Verfahrens, wobei sich ein Alter von $2,30 \pm 0,14$ Mio. Jahren ergab. Aufgrund der obigen Ausführungen könnte dieses Alter auch höher als das geologische Alter sein. Berücksichtigt man jedoch die Tatsache, daß wir an mehreren Proben, die aus Wilhelmsdorf, Klöch und Feldbach stammen, vergleichbare Alterswerte gemessen haben, kann wohl auch das radiometrische Alter von Mühldorf als geologisches Alter angesehen werden.

4.6. Neuhaus

Ein intermediärer Alterswert wurde von den Basaltproben No. 1698 bzw. 1707 von Neuhaus geliefert. Diese Werte sind entweder als effektives geologisches Alter anzusehen oder aber sind infolge des eventuell vorhandenen Überschuß-Ar älter als dieses. Zur Klärung der Meßzuverlässigkeit dieser Alter müßte eine sehr arbeitsintensive Probenvorbereitung mit Separierung diverser Probenfraktionen vorgenommen werden sowie einer Messungsreihe unterzogen werden.

4.7. Klöch

Die Basalte im Raum Klöch (Seindl, Kindsbergkogel) liegen unter Zwischenschaltung von Kiesen (= Präbasaltische Schotter als Äquivalent der Silbersbergschotter; mittleres Daz nach WINKLER-HERMADEN, 1957) sarmatischen Schichten auf. Der Kontakt zwischen den Präbasaltischen Schottern und dem darunterliegenden Tertiär ist eine jüngsttertiäre Erosionsfläche, an die an manchen Lokalitäten auch Roterden gebunden sind (vgl. FLÜGEL & HERITSCH, 1968:51-53).

Das radiometrische Basaltalter von $2,6 \pm 1,2$ Mio. J. fällt in das Roman bzw. möglicherweise noch ins älteste Quartär. Ihre Alterseinstufung entsprechend WINKLER-HERMADEN (1957) ins Daz ist somit zu revidieren (vgl. dazu auch FLÜGEL & NEUBAUER, 1984).

Ebenso wie am Stradnerkogel werden die Basalte des Klöcher Raumes von Erosionsflächen gekappt. Das höchste dieser Niveaus befindet sich am Seindl (424 m), ein

weiteres am Zahrerberg (367 m). Letzteres ist durch das Auftreten von basal blockig brechenden Rotlehmen charakterisiert. Ein weiteres Niveau, das ebenfalls Rotlehme besitzt und von Staublehmen und Pseudogleyen (FINK, 1961) überlagert wird, liegt auf der westlichen Vorkuppe des Seindls auf ca. 400 m Höhe. Diese Niveaus und auch die örtlich daran gebundenen Postbasaltischen Schotter werden traditionell (WINKLER-HERMADEN, 1957) als Hochstradner-Niveau (mit örtlicher Untergliederung in das höhere Stadelberg- und das tiefere Zahrerberg-Niveau) zusammengefaßt und ins Ast-Piacenc eingestuft. FLÜGEL & NEUBAUER (1984) schließen ein frühquartäres-präglaziales Alter nicht aus.

4.8. Wilhelmsdorf

Ebenso wie im Raum Klöch lagern die basaltischen Gesteine des Stradnerkogels einer Denudationsfläche mit erosiv darüber liegenden Kiesen (= Präbasaltische Schotter, Äquivalent der Silbersbergschotter) auf. Nach oben hin wird das Alter der Kiese nun durch das vorliegende Basaltalter ($1,71 \pm 0,72$) begrenzt. Die von WINKLER-HERMADEN (1957) vorgenommene Einstufung in das Daz (zeitliche Abgrenzung 5,2–3,8 nach STEININGER et al., 1990) trifft für die Basalte des Stradnerkogels wie auch die von Klöch nicht zu. Die datierten Basalte von Wilhelmsdorf überlappen bei Berücksichtigung der Fehlergrenzen zeitlich mit jenen von Klöch. Sie sind somit ins Roman bis/oder ältestes Quartär einzustufen.

Gekappt werden die Basalte von einem Denudationsniveau mit darüberliegenden Lehmen. Die Position derartiger Verebnungsflächen wurde bereits bei der Diskussion der Altersdaten von Klöch behandelt.

4.9. Bomben von Neuhaus und Unterweissenbach

Wie bereits erwähnt wurde, gehört die Altersfrage der vulkanischen Bomben zu den heiklen Fragen. Ein Teil des Probenmaterials der von uns untersuchten Bomben, wie jene von Neuhaus ($3,11 \pm 0,75$ bzw. $3,76 \pm 0,41$ Mio. J.) und Unterweissenbach ($2,27 \pm 0,17$ Mio. J.) ist nämlich mehr oder weniger verwittert, d.h. karbonatisiert bzw. montmorillonitisiert. Es ist daher damit zu rechnen, daß ihr radiometrisches Alter mit ihrer Entstehungszeit nicht übereinstimmt. Außerdem könnte auch die Ausgasung oder auch das Maß der atmosphärischen Ar-Aufnahme einen Einfluß ausüben, was durch die kleine Masse dieser Bildungen sowie deren spezielle Abkühlungsbedingungen verursacht sein könnte. Gesetzmäßigkeiten und Wechselwirkung all dieser Parameter sowie deren rechnerische Größen könnten erst durch die Untersuchung einer weiteren größeren Probenserie abgeschätzt werden.

5. Schlußfolgerungen und Bemerkungen zur magmatogenen Entwicklung am Alpenostrand

Der Vulkanismus im Steirischen Becken und der Landseer Bucht ist als Teil der magmatischen Aktivität im gesamten pannonischen Raum zu sehen. Aufgrund der radiometrischen K/Ar-Datierungen und der geologischen Position können nun im Steirischen Becken, der Landseer Bucht und dem Lavanttal drei zeitlich, räumlich und auch materialmäßig getrennte Eruptionsphasen erkannt werden:

5.1. Karpat-Unterbaden (saure-intermediäre Vulkanite)

Der Bearbeitungsstand dieser Vulkanite läßt, da moderne geochemische Spurenelementuntersuchungen größtenteils fehlen, zur Zeit noch keine zufriedenstellende plattentektonische Interpretation zu. Zusätzlich wird die Bearbeitung auch dadurch erschwert, daß der größte Teil dieser Vulkanitmassen von jüngeren Tertiärsedimenten verdeckt ist (vgl. KRÖLL et al. 1988).

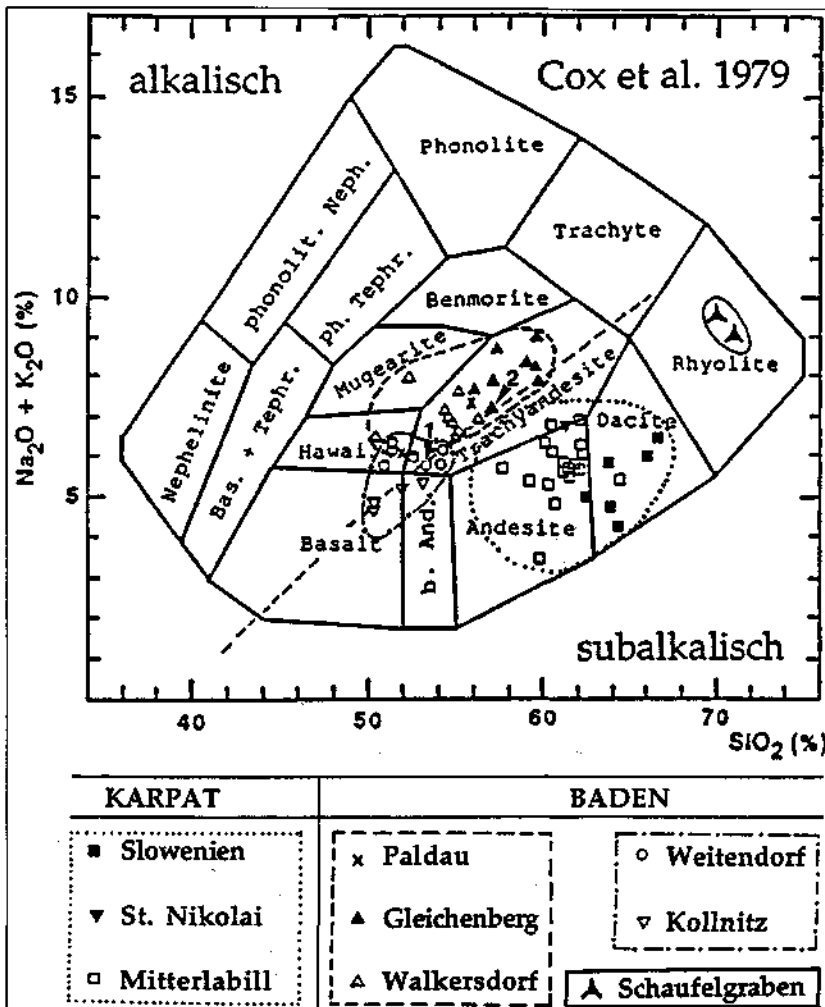
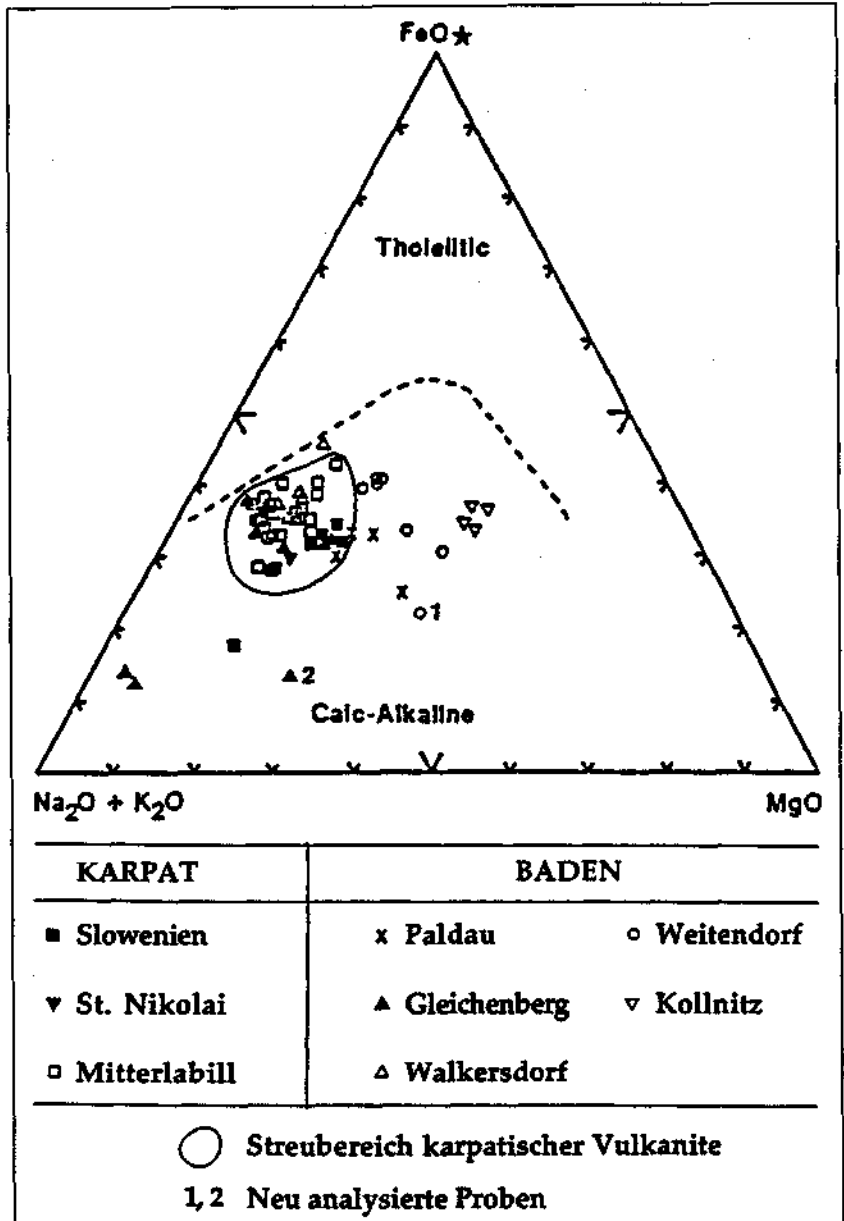


Abb. 3. Karpatisch/unterbadensische Vulkanite des Steirischen Beckens und Lavantales im Klassifikationsdiagramm nach Cox et al. (1979) unter Berücksichtigung veröffentlichter Analysendaten (Lit. cit. bei EBNER & SACHSENHOFER, 1991) und neu analysierter Proben (Nr. 1,2).

Abb. 4.
Die Position der karpatisch/unterbadensischen Vulkanite des Steirischen Beckens fällt im Diagramm nach IRVINE & BARAGAR, 1971 in das kalkalkalische Feld.
Unter Berücksichtigung veröffentlichter Analysendaten (Lit. cit. bei EBNER & SACHSENHOFER, 1991) und der neu analysierten Proben (Nr. 1,2).

Ausgehend von Bohrkernbearbeitungen für Inkohlungsuntersuchungen, Alterseinstufungen der ÖMV- und RAG-Bohrungen im Steirischen Becken und EDV-mäßiger Erfassung aller publizierter Vulkanit-Analysendaten zeigten EBNER & SACHSENHOFER (1991), daß innerhalb der steirisch-slowenischen Vulkanprovinz zeitlich ein Wandern der vulkanischen Aktivität und damit auch eine Änderung des Magmencharakters zu erkennen ist. In Abb. 3 (Klassifikationsschema nach COX et al. 1979; IRVINE & BARAGAR, 1971) kommen die älteren, südlichen Vulkanite des Karpat im subalkalischen, die nördlicheren, badenischen Vulkanite jedoch bereits im alkalischen Feld zu liegen. Als isolierte Felder treten auch die Vulkanitmassen von Weitendorf bzw. Kollnitz im Lavanttal und die Rhyolithe des Schaufelgrabens bei Gleichenberg in Erscheinung.

Tabelle 3.
Mineral-Phasenanalyse von tertiären Vulkaniten der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlands.
DTA-Analyse von Frau M. FÖLDVARI (MÁFI Budapest); Angaben in %.
Probennummern siehe Tabelle 1.



Probenpunkt	Montmorillonit	Illit	Chlorit	Quarz	Kalzit	Dolomit	Analcim	Chabasit	Gesteinsglas
1	7				1-2				
3/1	9	3	8			2			
4/1					1				
5/1					1				
6	Spuren					8			
7/1	13	13	4	+	9				
8/1					Sp.				
9/2	23	?		+			20	5	
10	17	14	4	+	22				
11	16	13	8	+	1				
12	43				1				
13	32	?	?	+	6				+
15	17	12	5	+					+
17	30	24	4			4			
19	31	10	5	+		5			
20	40-50			+					+

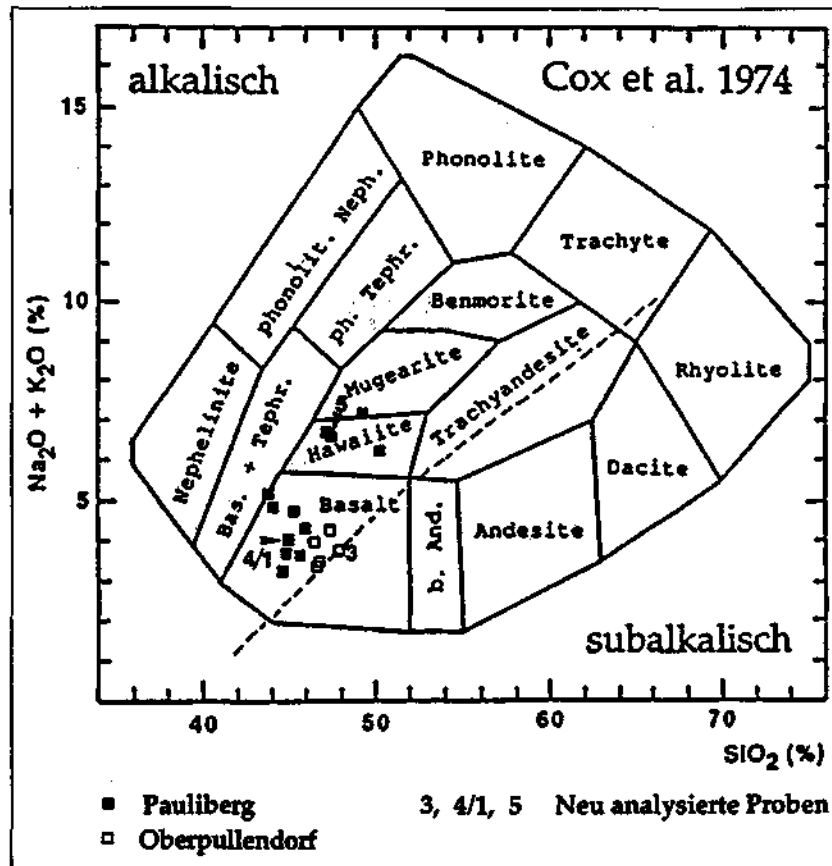


Abb. 5. Klassifikation der sarmatisch/pannonischen Vulkanite im Diagramm nach Cox et al. 1979 unter Berücksichtigung veröffentlichter Analysendaten (Lit. cit. bei EBNER & SACHSENHOFER, 1991) und der neu analysierten Proben (Nr. 3, 4/1, 5). Alle Proben fallen in den alkalischen Bereich (= links oberhalb der strichlierten Linie als Grenze zum subalkalischen Bereich nach IRVINE & BARAGAR, 1971).

Gestein voll in den Rahmen der miozänen Vulkanite (Bildung bei niedrigem Druck nach GREEN & RINGWOOD, 1967), der Basalt von Kollnitz jedoch in Affinität zu den pliozänen Basalten (Bildung bei hohem Druck) steht. In Diskrepanz zu einer derart abgeleiteten pliozänen Alterszuordnung (sensu KOLMER, 1980b) steht das K/Ar-Alter des Kollnitzer Gesteins mit $14,9 \pm 0,9$ (LIPPOLT et al., 1975).

Im $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{FeO}$ -Diagramm (Abb. 3) zeichnen sich die karpatischen Vulkanite gegenüber den badenischen durch eine wesentlich geringere Streubreite aus. Beide Datengruppen fallen jedoch gänzlich in das kalkalkalische Feld (Abb. 4). Im Sinne von RANDULESCU & SANDULESCU (1973) könnte dies als ein

Argument für einen subduktionsbezogenen Vulkanismus gedeutet werden, wobei die Entwicklung zu alkalireichen Gesteinen im Baden und nördlicher Position eventuell mit einem Versteilen der Subduktionsfront begründet werden kann (vgl. EBNER & SACHSENHOFER, 1991). LEXNER & KONECNY (1979) interpretieren die Anlage des Innerkarpatischen Vulkankranzes mit einem durch Subduktion entlang des Alpen-Karpaten-Außenrandes initiierten Manteldiapirismus wobei es zur Mischung bzw. Verunreinigung von Aufschmelzungsprodukten des oberen Mantels und der sub-

Die magmatogene Entwicklung des Steirischen Vulkanobogens im Karpat und Baden deutet HERITSCH (1967b) derart, daß alkaliolivinbasaltische Magmen in Krustenniveaus aufstiegen und dort K-reiches (granitisches) Material assimilierten, wodurch die Bildung von Latiten-Quarztrachyten ermöglicht wurde. In dieser Entwicklungsreihe kommen die „basaltischen“ Gesteine von Kollnitz und Weitendorf am SiO_2 -armen Ende zu liegen. KOLMER (1980b) zeigte aufgrund der K/Sr- und Rb/Sr-Quotienten, daß aufgrund dieser Parameter das Weitendorfer

Tabelle 4. Chemische Analyse ausgewählter tertiärer Vulkanite der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlands. Analytik: A. ARATO, E. BERTALAM, I. DER, M. EMSZT, Gy. PETRAS (alle MÁFI Budapest). Probennummern siehe Tab. 1.

Probenpunkt	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	GV ¹⁾	+H ₂ O	-H ₂ O	CO ₂	P ₂ O ₅	S _{tot}	BaO
1	53,5	1,30	17,4	2,71	3,11	0,117	7,90	5,17	2,91	2,77	2,46	-	0,61	-	0,50		
2	57,05	1,02	18,1	3,87	1,68	0,076	5,53	2,93	3,06	4,72	-	1,18	0,74	0,07	0,65		
3	47,67	2,71	12,8	2,80	6,66	0,151	9,95	7,98	2,69	1,15	-	1,45	0,98	2,47	0,44		
4/1	45,53	4,19	11,2	4,55	6,75	0,181	10,7	10,5	2,71	1,26	1,37	-	0,28	-	0,52	0,06	0,20
4/2	47,50	4,35	15,03	5,39	4,70	0,140	9,82	3,98	3,82	22,95		0,65	0,83		0,96		
5	43,8	2,62	15,3	3,27	5,61	0,169	10,5	8,91	4,19	2,36	2,22	-	0,44	-	0,46	0,05	0,25
6	40,9	2,66	14,9	7,21	3,45	0,256	12,7	5,93	6,23	2,28	1,94	-	0,08	1,58			
7/1	54,1	1,53	13,1	4,46	2,13	0,149	8,42	4,66	0,80	1,35	7,92	1,10	-	0,30			
7/2	45,28	2,18	17,2	2,89	5,12	0,165	10,50	5,83	3,30	1,7	-	2,05	0,58	2,22	0,47		
8/1	46,5	2,56	16,8	2,99	5,62	0,154	9,51	6,22	5,21	2,45	0,86	-	0,02		1,10		
8/2	43,4	2,49	14,4	4,34	5,45	0,213	11,0	6,51	4,84	2,73	2,65		0,30		1,03	0,07	0,23
9/1	43,75	2,21	16,9	2,71	6,28	0,166	10,10	7,66	3,62	2,61	-	0,65	0,22	0,07	0,85		
12	40,79	2,06	15,4	2,85	5,31	0,211	14,8	5,31	2,44	1,26	-	3,95	1,12	3,64	0,75		

¹⁾ Glühverlust (H₂O + CO₂).

Tabelle 5.
Spektralanalyse der Spurenelement-Gehalte [ppm] tertiärer Vulkanite der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlands.
Analytik: MAFI Budapest.

Proben-Punkt	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Co	Cr	Cu	Ga	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	V	W	Y	Zn	Zr
3			<16	100			100	160	60	16	< 6	250	< 6			250	160			100	< 100
4/1			<16	160			100	160	100	16	< 6	160	< 6			250	100		<60	100	100
5	<0,4	<600	16	100	<6	<16	40	60	60	16	10	100	10	<60	<6	60	100	<60	<60	100	< 100
6	<0,4	<600	<16	60	<6	<16	40	25	60	40	60	100	25	<60	<6	40	60	<60	60	250	< 100
7/1			25	600			40	160	40	10		100	< 6			160	160				250
8/1			<16	100			40	40	40	16	6	60	< 6			40	100			100	< 100
8/2			16	60			60	40	100	25	<40	100	<25			40	100			250	< 100
9/1			25	1000	6		40	100	40	25		100	6			1000	100				600
10			40	400			40	100	60	16	< 6	100	25			160	100			<100	< 100
11			25	1000			40	400	40	16	< 6	100	16			400	160		<60	100	400
12			25	1000			60	100	40	16	< 6	100	<10			600	160			<100	250
13	<0,4	<600	16	1000	<6	<16	60	100	40	16	< 6	160	< 6	<60	<6	1000	160	<60	<60	<100	400
15	<0,4	<600	16	1000	<6	<16	60	160	25	6	< 6	100	<10	<60	<6	400	160	<60	<60	<100	400
16			25	600	<6		40	160	40	10		100	< 6			400	160				250
17			16	1000			40	60	25	10	< 6	60	< 6			100	250			<100	< 100
19			25	600			60	100	40	10	< 6	100	16			250	160		<60	<100	250
20			<16	1000			60	160	40	10	< 6	100	< 6			1600	160			<100	1000

duzierten Platte kam (SALTERS et al., 1988). Gut mit der strukturellen Entwicklung des Steirischen Beckens läßt sich jedoch auch ein Modell von LANGE & CARMICHAEL (1991) vereinigen, nach dem K-reiche Vulkanite häufig in Bereichen intensiver Dehnungs- und Strike Slip-Tektonik während und auch nach Subduktionsvorgängen auftreten (vgl. dazu EBNER & SACHSENHOFER, 1991).

5.2. Obersarmat/Unterpannon (Alkaliolivinbasalte)

Eine zweite vulkanische Aktivitätsphase zeichnet sich vom Sarmat/Pannon-Grenzbereich bis ins Unterpannon ab. Räumlich sind die Eruptionen basaltischer Gesteine an den Bereich Pauliberg, Stoob, Oberpullendorf, strukturell an NW-SE-orientierte Bruchzonen gebunden. Dazu gehört der Stoober Verwurf, der im Miozän mit einem Versatz von 50-100 m aktiv war und von den Basaltbildungen von Stoob bzw. Oberpullendorf nachgezeichnet wird (SCHMID, 1977).

Die hier auftretenden Vulkanite sind Alkaliolivinbasalte, Trachydolerite und Olivintholeiite (POULTIDIS & SCHARBERT, 1986), deren Position im Klassifikationsdiagramm (nach COX et al., 1979) Abb. 5 zu entnehmen ist. Der Herkunftsbereich der Magmen ist der obere Mantel, wo sie in seichteren Niveaus und unter höherem Aufschmelzungsgrad als die nachstehend diskutierten plio/pleistozänen Basanitoide gebildet wurden (EMBEY-LSZTIN et al., 1985).

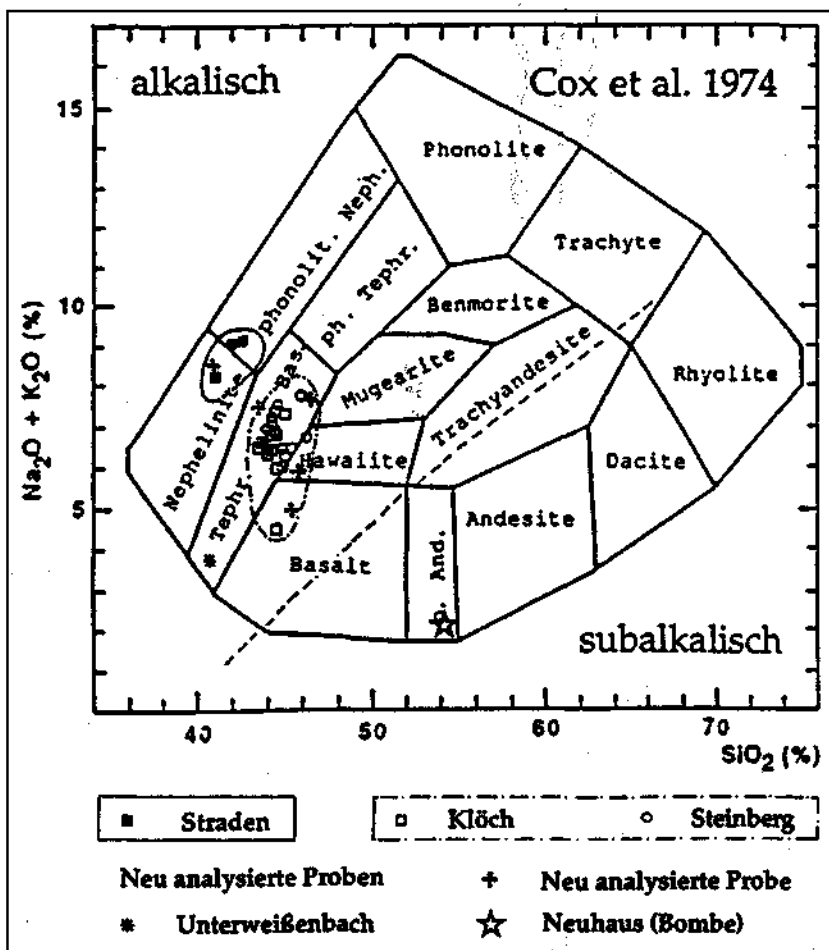
5.3. Pliozän-Pleistozän (Basanitoide)

Die dritte Episode ist durch Basanitoide charakterisiert und setzte nach einer verhältnismäßig längeren inaktiven Periode erst im Pliozän (Roman) ein und dauerte bis zum Beginn des Pleistozäns an.

Geochemisch werden diese Magmen durch einen kontinuierlich zunehmenden Gesamt-Alkaligehalt, insbesondere durch eine Zunahme der Na₂O-Gehalte, charakterisiert (Tab. 4).

Diese finale effusive Phase wird außerdem durch verstärkte pyroklastische Lieferungen charakterisiert.

Abb. 6.
Klassifikation plio-/pleistozäner Vulkanite im Klassifikationsdiagramm nach Cox et al. 1979 unter Berücksichtigung veröffentlichter Analysendaten (Lit. cit. bei EBNER & SACHSENHOFER, 1989) und neu analysierter Proben (Zusatzsymbole). Sie stellen die SiO₂-ärmsten plio/pleistozänen Basanitoide des gesamten pannonischen Raumes dar.



Geländebefunde wie auch normal und revers magnetisierte Anteile (MAURITSCH, 1972) weisen auf verschiedenen alte Ergüsse. Die geochemische Streubreite der neu analysierten Proben fügt sich gut in das bei EBNER & SACHSENHOFER (1991: Abb. 26) dargestellte Verteilungsmuster der pliozänen Vulkanite. Lediglich Probe 8 (Basaltbombe von Neuhaus) fällt aus diesem Schema (Abb. 6). Dies steht eventuell im Zusammenhang mit der Bombennatur dieser Probe.

Nach EMBEY-ISZTIN et al. (1985) sind die Nephelinite des Stradnerkogels die am meisten untersättigten des gesamten pannonischen Raumes, deren Schmelzen unter geringem Aufschmelzungsgrad in beträchtlicher Tiefe und bei hohen Drucken gebildet wurden. Die von etwa 30–40 Durchschlagsröhren bekannten Tuffe führen Xenolithe, die 50–80 km tiefen Mantelbereichen entstammen und für die Gleichgewichtstemperaturen von 940–1100°C bei Drucken von 15–27 Kb angenommen werden (KURAT et al. 1980).

Aufgrund der petrologisch/geochemischen Zusammensetzung der südoststeirisch-burgenländischen Vulkanite sind diese dem atlantischen Typ der Alkalivulkanit-Reihe zuzuordnen. Infolgedessen werden sie als Produkte eines kontinentalen Rifting-Prozesses angesehen. Weitere Diskussionen sind FLÜGEL & NEUBAUER (1984) zu entnehmen.

Stellt man einen Vergleich mit den ungarischen basaltischen Bildungen an, können Weitendorf und Gossendorf wohl als Äquivalente zu den tiefliegenden Trachyten der Kleinen Ungarischen Tiefebene angesehen werden, welche ihrerseits von jüngeren Gängen durchzogen sind. Die Alkalibasalte des Burgenlands zeigen gleiche Zusammensetzung mit den in Tiefbohrungen angefahrenen Stratovulkaniten im südlichen Abschnitt des Donau-Theiss-Zwischenstromlandes. Den jungen Basaniten entsprechen schließlich die Alkalibasalte in der Umgebung von Salgótarján. Bereits WINKLER (1921) und andere versuchten, das Pliozän bzw. Pont des Steirischen Beckens mit Westungarn zu parallelisieren.

Dank

Die Geländearbeiten zu dieser Arbeit wären ohne den logistischen Hintergrund des österreichisch-ungarischen Abkommens über geologische Zusammenarbeit nicht durchführbar gewesen. H. LOBITZER, G. SOLTI und Cs. RAVASZ danken den Direktoren der GBA und des MAFI für die mehrjährige Möglichkeit der Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Ölschiefer- und Maar-Forschung im speziellen. Weiters danken wir den Herren an der Obersten Bergbehörde (Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Sektion VII) für die Bereitstellung von Mitteln aus dem Rohstoff-Forschungsprojekt ÜLG 19 „Aufsuchung von Alginit in Österreich“.

Frau Dr. S. SCHARBERT (GBA Wien), Herrn Dr. F. RÖGL (Naturhist. Museum Wien) und Herrn Prof. Dr. F. STEININGER (Univ. Wien) danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskripts und die zahlreichen damit verbundenen Anregungen.

Literatur

BALOGH, K.: K/Ar dating of Neogene volcanic activity in Hungary: Experimental technique, experiences and methods of chronological studies. – *ATOMKI Rep.*, D/1, 277–288, Debrecen 1985.
 BALOGH, K., ARVA-SOS, E., PÉCSKAY, Z. & RAVASZ-BARANYAI, L.: K/Ar dating of Post-Sarmatian alkali basaltic rocks in Hungary. – *Acta Miner.-Petr. Szeged.*, 28, 75–93, Szeged 1986.
 BALOGH, K., JAMBOR, A., PARTÉNYI, Z., RAVASZ-BARANYAI, L. & SOLTI, G.: Dunántúli bazaltos K/Ar körmeghatározása. – *Földt. Int. Evi Jel.*, Jg. 1980, 243–260, Budapest 1982.

BALOGH, K., JAMBOR, A., PARTÉNYI, Z., RAVASZ-BARANYAI, L., SOLTI, G. & NUSSZER, A.: Petrography and K/Ar dating of Tertiary and Quaternary basaltic rocks in Hungary. – *Ann. Inst. Geol. Geofiz. Bucuresti*, 61, 365–373, Bukarest 1983.
 BALOGH, K., LOBITZER, H., PÉCSKAY, Z., RAVASZ, Cs. & SOLTI, G.: K/Ar dating of Tertiary volcanic rocks in East Styria and Burgenland. – *Ma. Áll. Földt. Int. Evi Jelentes* 1988, 451–468, Budapest 1990 (Ungarisch mit englischem Abstract).
 BALOGH, K., MIHALIKOVA, A. & VASS, D.: Radiometric dating of basalts in Southern and Central Slovakia. – *Západné Karpaty, Ser. geol.*, 7, 113–126, Bratislava 1981.
 BARTH-WIRSCHING, U., EHN, R., HÖLLER, H., KLAMMER, D., & SITTE, W.: Studies on hydrothermal alteration by acid solutions dominated by SO₄²⁻: Formation of the alteration products of the Gleichenberg latitic rocks (Styria, Austria)–Experimental evidence. – *Mineralogy and Petrology*, 41, 81–103, Wien 1990.
 BERNOR, R.L., KOVAR-EDER, J., LIPSCOMB, D., RÖGL, F., SEN, S. & TOBIEN, H.: Systematic, stratigraphic, and paleoenvironmental contexts of first-appearing Hiparion in the Vienna Basin, Austria. – *Journal Vertebrate Paleont.*, 8, 427–452, Lincoln 1988.
 BISTRITSCHAN, K.: Erloschene Vulkane in Österreich. – *Universum*, 5/1, 24–28, Wien 1950.
 BLEAHU, M., BOCCALETTI, M.: Neogene Carpathian Arc: A Continental Arc Displaying the Features of an "Island Arc". – *J. Geophys. Res.*, 78, 5025–5032, Washington 1973.
 BORSY, Z., BALOGH, K., KOZAK, M. & PÉCSKAY, Z.: Contributions to the evolution history of the Tapolca-basin, Hungary. – *Acta Geographica Debrecina*, Jg. 1984, 23, 79–104, Debrecen 1986.
 COX, K.G., BELL, J.D. & PANKHURST, R.J.: The Interpretation of Igneous Rocks. – George Allen and Unwin, London 1979.
 DREGER, J.: Alter des Weitendorfer Basaltes. – *Verh. Geol. R.-A.*, 1902, p. 218, Wien 1902.
 EBNER, F.: Vulkanische Tuffe im Miozän der Steiermark. – *Mitt. natw. Ver. Steiermark*, 111, 39–55, Graz 1981.
 EBNER, F.: Bericht 1985 über geologische Aufnahmen auf Blatt 163 Voitsberg. – *Jb. Geol. B.-A.*, 129, 442–444, Wien 1986.
 EBNER, F. & GRÄF, W.: Die Fauna von Weitendorf. – *Jber. Landesmus. Joanneum, N.F.*, 6, Jg. 1976, 157–183, Graz 1977.
 EBNER, F. & GRÄF, W.: Die Bentonitvorkommen der Nordoststeiermark. – *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum*, 38, 9–30, Graz 1977.
 EBNER, F. & SACHSENHOFER, R.F.: Inkohlung, Paläogeothermie und Erdölreife im Oststeirischen Becken. – *Nachr. deutsch. Geol. Ges.*, 41, 89–90, Hannover 1989.
 EBNER, F. & SACHSENHOFER, R.F.: Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. – *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum*, 49, 96 S., Graz 1991.
 EMBEY-ISZTIN, A., PELTZ, S. & POKA, T.: Petrochemistry of the Neogene and Quaternary basaltic volcanism in the Carpathian Basin. – *Fragmenta Mineralogica et Paleontologica*, 12, 5–18, Budapest 1985.
 FENNINGER, A. & WASSERMANN, W.: Clavagellen (Lamellibranchiata) aus den Tonmergeln von Weitendorf (Baden). – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 112, 49–58, Graz 1982.
 FERENCZI, I.: Geomorfológiai tanulmányok a Kismagyaralföld D-i öblében. – *Földt. Közl.*, 54, 17–38, Budapest 1924.
 FINK, J.: Die Südostabdachung der Alpen. – *Mitt. österr. bodenkundl. Ges.*, 6, 123–183, Wien 1961.
 FLÜGEL, H.W.: Das Alter des Shoshonites von Weitendorf, Steiermark. – *Joanneum, Mineralog. Mitteilungsbl.*, 42, 279–280, Graz 1975.
 FLÜGEL, H.W.: Die Geologie des Grazer Berglandes. – Erläuterungen zur Geologischen Wanderkarte des Grazer Berglandes 1: 100.000. – 2. Aufl., Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, Sh. 1, 288 S., Graz-Wien 1975.
 FLÜGEL, H.W.: Geologische Karte des prätertiären Untergrundes. – In: KRÖLL, A. et al.: Erläuterungen zu den Karten über den prätertiären Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle. – 21–49, Wien (Geol. B.-A.) 1988.

- FLÜGEL, H., HAUSER, A. & PAPP, A.: Neue Beobachtungen am Basaltvorkommen von Weitendorf bei Graz. – Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., Abt. I, **161**, 173–184, Wien 1952.
- FLÜGEL, H. & HERITSCH, H.: Das Steirische Tertiärbecken. – Samml. Geol. Führer, **47**, 196 S., Berlin-Stuttgart (Borntraeger) 1968.
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F.: Steiermark. – Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen, 126 S., 1 Karte, Wien (Geol. B.-A.), 1984.
- FUCHS, W.: Das Inneralpine Tertiär. – In: OBERHAUSER, R. (Hrsg.): Der geologische Aufbau Österreichs. – 452–483, Wien – New York (Springer-Verlag) 1980.
- GREEN, D.H. & RINGWOOD, A.E.: The Genesis of Basaltic Magmas. – Contr. Miner. Petrol., **15**, 103–190, Berlin etc. 1967.
- HAUSER, A.: Der steirische Vulkanbogen als magmatische Provinz. – Tscherma's miner. petrogr. Mitt., 3. Folge, **4**, 301–311, Wien 1954.
- HAUSER, A. & URREGG, H.: Die Ergußgesteine und vulkanischen Tuffe. – In: Die nutzbaren Gesteine Steiermarks, **7**, 42 S., Graz 1951.
- HERITSCH, H.: Das oststeirische Vulkangebiet. – Fortschr. Miner., **42**, 165–169, Stuttgart 1965.
- HERITSCH, H.: Eine chemische Analyse des Basaltes (Shoshonites) von Weitendorf, südlich von Graz, Steiermark. – Anz. Österr. Akad. Wiss., **104**, 223–226, Wien 1967a.
- HERITSCH, H.: Über die Magmenentfaltung des steirischen Vulkanbogens. – Contr. Miner. Petrol., **15**, 330–344, Berlin etc. 1967b.
- HERITSCH, H.: Vulkanische Gesteine vom Steinberg bei Feldbach, Steiermark. – Mitt. natw. Ver. Steiermark, **98**, 16–26, Graz 1968.
- HERITSCH, H.: Über mögliche Beziehungen zwischen den Haupttypen des pliozänen, basaltischen Vulkanismus der Oststeiermark. – Anz. österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., **112**, 147–154, Wien 1976.
- HERITSCH, H.: Über Nephelinbasanite und ein basaltisches Glas des Vulkangebietes von Klöch, Oststeiermark. – Mitt. natw. Ver. Steiermark, **106**, 21–29, Graz 1979.
- HERITSCH, H., HÖLLER, H. & KOLLMANN, K.: Exkursion III/7: Oststeirisches Tertiär- und Vulkangebiet. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **57**, 365–377, Wien 1964.
- HERRMANN, P.: Erläuterungen zu Blatt 139 Lutzmannsburg. – 23 S., Wien (Geol. B.-A.) 1981.
- HILBER, V.: Das Tertiärbecken um Hartberg in Steiermark und Pinnakelfeld in Ungarn. – Jb. Geol. R.-A., **44**, 389–414, Wien 1894.
- HÖLLER, H., KOLMER, H. & WIRSCHING, U.: Chemische Untersuchungen der Umwandlung glasiger Tuffe in Montmorillonit- und Kaolinit-Mineralen. – Jb. Miner., Mh., **1976**, 456–466, Stuttgart 1976.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A.: A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. – Can. J. Earth Sci., **8**, 523–548, Ottawa 1971.
- JAMBOR, A., PARTÉNYI, Z., RAVASZ-BARANYAI, L., SOLTÍ, G. & BALOGH, K.: K/Ar dating of basaltic rocks in Transdanubia, Hungary. – ATOMKI Közl., **22**, 172–190, Debrecen 1980.
- JAMBOR, A. & SOLTÍ, G.: Geological conditions of the Upper Pannonian oil-shale deposit recovered in the Balaton Highland and at Kemeneshát. – Acta Miner. Petr., **22**, 9–28, Szeged 1975.
- JANOSCHEK, R.: Die Geschichte des Nordrandes der Landseer Bucht im Jungtertiär (Mittleres Burgenland). – Mitt. Geol. Ges. Wien, **24**, 38–133, Wien 1932.
- JUGOVICS, L.: Az Alpok keleti lábánál és a Kis Magyar Alföldön Veszprém megyében fellépő bazaltok és bazalt-tufák. – Földt. Int. Evi Jel., Jg. **1916**, 63–76, Budapest 1919.
- JUGOVICS, L.: Az alpok keleti végződése alapján és a vasvármegyei Kis Magyar Alföldön felbukkanó bazaltok és bazalttufák. – Földt. Int. Evi Jel., Jg. **1915**, 49–73, Budapest 1916.
- JUGOVICS, L.: Die Basalte des Pauliberges im Burgenland. – Chemie der Erde, **12**, Jena.
- KANTOR, J. & WIEGEROVA, V.: Radiometric ages of some basalts of Slovakia by $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$ method. – Geol. zbor., Geol. carpath., **17**, 117–130, Bratislava 1981.
- KOLLMANN, K.: Jungtertiär im Steirischen Becken. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **57**, 479–632, Wien 1965.
- KOLLMANN, K.: Die erdöl- und erdgashöflichen Gebiete Österreichs: Steiermark und Südburgenland. – In: BACHMAYER, F. (Hrsg.): Erdöl und Erdgas in Österreich, 216–223, Wien (Naturhistor. Museum) 1980.
- KOLMER, H.: Das Rb/Sr-Alter oststeirischer Vulkanite. – Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., **110**, 23–26, Graz 1980 a.
- KOLMER, H.: Die Verteilung von Rubidium und Strontium in den Basalten von Weitendorf/Stmk. und Kolnitz/Ktn. – Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., **110**, 27–31, Graz 1980 b.
- KOPETZKY, G.: Das Miozän zwischen Kainach und Lassing in Südweststeiermark. – Mitt. Mus. Bergb. Geol. Technik Landesmus. Joanneum, **18**, 112 S., Graz 1957.
- KRAINER, B.: Sedimentation und Shoshonit von Weitendorf, Badenien, Steirisches Becken. – Mitt. Österr. Geol. Ges., **80**, 143–156, Wien 1987.
- KRÖLL, A., FLÜGEL, H.W., SEIBERL, W., WEBER, F., WALACH, G. & ZYCH, D.: Erläuterungen zu den Karten über den prätertiären Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle. – 49 S., Geol. B.-A., Wien 1988.
- KÜMEL, F.: Vulkanismus und Tektonik der Landseer Bucht im Burgenland. – Jb. Geol. B.-A., **86**, 203–235, Wien 1936.
- KÜPPER, H.: Erläuterungen zur geologischen Karte Mattersburg-Deutschkreutz 1 : 50.000. – Verh. Geol. B.-A., Wien 1957.
- KURAT, G., KRACHER, A. & SCHARBERT, H.: Petrologie des oberen Erdmantels unterhalb von Kapfenstein, Steiermark. – Fortschr. Miner., **54**, Beiheft 1, 53–54, Stuttgart 1976.
- KURAT, G., PALME, H. & SPETTEL, B.: Geochemistry of the mantle under Kapfenstein, Styria (xenoliths from basalt). – Fortschr. Miner., **55**, 142–143, Stuttgart 1977.
- KURAT, G., PALME, H., SPETTEL, B., BADDENHAUSEN, H., HOFMEISTER, H., PALME, Ch. & WÄNKE, H.: Geochemistry of ultramafic xenoliths from Kapfenstein, Austria: Evidence for a variety of upper mantle processes. – Geochim. Cosmochim. Acta, **44**, 45–60, Oxford 1980.
- LANGE, R.A. & CARMICHAEL, I.S.E.: A potassic volcanic front in western Mexico: The lamprophyric and related lavas of San Sebastian. – Geol. Soc. Am. Bull., **103**, 928–940, Washington 1991.
- LEITMEIER, H.: Zur Altersfrage des Basaltes von Weitendorf in Steiermark. – Mitt. natw. Ver. Steiermark, **46**, 335–347, Graz 1909.
- LEXNER, J. & KONECNY, V.: Relationship of the Carpathian volcanic arc to the geodynamic evolution of the Pannonian Basin. – Bull. geodyn. Invest. in Czechoslovakia, 231–235, Bratislava 1979.
- LIPPOLT, J., BARANYI, I. & TODT, W.: Das Kalium-Argon-Alter des Basaltes vom Lavant-Tal in Kärnten. – Aufschluß, **26/6**, 238–252, Heidelberg 1976.
- MACHATSCHKI, F.: Über den Basalt von Weitendorf (Steiermark), seine exogenen Einschlüsse und Klüftfaltungen. – N. Jb. Miner. Geol. Abt. A, 367–374 und 413–422, Stuttgart 1927.
- MARINESCU, F., GHENEA, C. & PAPAIAPOPOL, J.: Stratigraphy of the Neogene and the Pleistocene Boundary. – Guide to Excursion AG of the 12th CBGA Congr., Bucharest, Romania, 58–59, Bukarest 1981.
- MAURITSCH, H.: Paläomagnetische Messungen an west- und oststeirischen Vulkaniten. – Arch. Lagerstförsch. Ostalpen, **13**, 35–57, Leoben 1972.
- MAURITSCH, H.: Geophysikalische Untersuchungen an den Vulkaniten im Raum Weitendorf-Wundschuh, Steiermark. – Joanneum, Mineralog. Mitteilungsblatt, **42**, 269–278, Graz 1975.
- MOSTAFAVI, M.: Die Neogenentwicklung am Nordrand des Oberpullendorfer Beckens (Burgenland). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **25**, 111–143, Wien 1978.
- MÜLLER, H.W. & SCHWAIGHOFER, B.: Frittung oder tertiäre Verwitterung – Zur Frage der Rotfärbung in den tertiären Liegendssedimenten des Basalts von Stoob (Burgenland, Österreich). – Verh. Geol. B.-A., Jg. **1979**, 133–160, Wien 1979.

- ODIN, G.S. (ed.): Numerical Dating in Stratigraphy. – 142–143, Chichester, etc. (Wiley & Sons) 1982.
- PAHR, A.: Erläuterungen zu Blatt 137 Oberwart. – 47 S., Wien (Geol. B.-A.) 1984.
- PETRASCHECK, W.: Vulkanische Tuffe im Jungtertiär am Ostalpenrande. – Sber. Akad. Wiss. Wien, math.-natw. Kl., Abt. I, **149**, 145–154, Wien 1940.
- PISO, E.: Zusammensetzung und Genese der Basalte des Pauliberges und von Stoob-Oberpullendorf (Burgenland). – Tschermaks Miner. Petr. Mitt. (3), **14**, 103–139, Wien 1970.
- POHL, J. & SOFFEL, W.: Paleomagnetism of Tertiary volcanics of Styria (Austria). – Geol. Jb., **D52**, 127–147, Hannover 1982.
- PÖSCHL, I.: A model for the depositional evolution of the volcaniclastic succession of a Pliocene maar volcano in the Styrian Basin (Austria). – Jb. Geol. B.-A., **134**, 809–843, Wien 1991.
- POULTIDIS, Ch.: Petrologie und Geochemie basaltischer Gesteine des steirischen Vulkanbogens in Steiermark und im Burgenland. – Diss. Univ. Wien, 146 p., Wien 1981.
- POULTIDIS, H. & SCHARBERT, H.G.: Bericht über geochemisch-petrologische Untersuchungen an basaltischen Gesteinen des österreichischen Teils der transdanubischen vulkanischen Region. – Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., **123**, 65–76, Wien 1986.
- PREISS, C.: Die Basalte vom Plattensee verglichen mit denen Steiermarks. – Mitt. natw. Ver. Steiermark, **45**, 1–59, Graz 1909.
- RANDULESCU, D.P. & SANDULESCU, M.: The Plate-Tectonics Concept and the Geological Structure of the Carpathians. – Tectonophysics, **16**, 155–161, Amsterdam 1973.
- RAVASZ, Cs.: Neogene Volcanism in Hungary. – Ann. Inst. Geol. Publ. Hung., **70**, 275–279, Budapest 1987.
- SALTERS, V.J.M., HART, S.R. & PANTO, Gy.: Origin of late Cenozoic volcanic rocks of the Carpathian Arc, Hungary. – In: L.H. ROYDEN & F. HORVATH (Hrsg.): The Pannonian Basin. A Study In Basin Evolution, AAPG Memoir, **45**, 279–292, Tulsa 1988.
- SCHARBERT, H.G., POULTIDIS, Ch., HÖLLER, H., KOLMER, H., WIRSCHING, U.: Vulkanite im Raume Burgenland-Oststeiermark. – Fortschr. Miner., **59**, 69–88, Stuttgart 1981.
- SCHMID, H.: Die hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse des neuen Mineralwasservorkommens von Kobersdorf/Bgld. – Wiss. Arb. Burgenl., **58**, 73–89, Eisenstadt 1977.
- SCHMIDT, E.R.: Die Eruptivgebiete bei Felsőpulya (Oberpullendorf) und Pálhegy (Pauliberg). – Acta Chemica Miner. Phys., **I**, 148–156, Szeged 1929.
- SCHOKLITSCH, K.: Untersuchungen an Schwermineralspektren und Kornverteilungen von quartären und jungtertiären Sedimenten des Oberpullendorfer Beckens (Landseer Bucht) im mittleren Burgenland. – Sber. Österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., Abt. I, **171**, 79–141, Wien 1962.
- SCHOKLITSCH, K.: Beiträge zur Kenntnis der oststeirischen Basalte. I. Teil. – N. Jb. Miner. etc., Beil. Bd. **63**, Abt. A, 319–370, Stuttgart 1931. II. Teil: Cbl. Miner. etc., Abt. A, 348–359, Stuttgart 1933.
- SOLTI, G., LOBITZER, H. et al.: Aufsuchung von Alginit in Österreich. Bericht über die österreichisch-ungarische Zusammenarbeit in der Ölschiefer-/Alginit-Forschung. – Projektendbericht ÜLG 19/1986, VII + 176. S., Budapest – Wien (MÁFI – Geol. B.-A.) 1987.
- SOLTI, G., LOBITZER, H. & RAVASZ, Cs.: Az osztrák maar bazalttuffa kráterek alginit célú vizsgálata. (A monitoring of potential oil shale deposits of basaltic tuff maars in Austria). – Ma. Áll. Földt. Int. Evi Jel., **1988**, 439–450, Budapest 1990 (Ungarisch mit englischem Abstract).
- STEIGER, & JÄGER, E.: Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. – Earth Planetary Sci. Letters, **36**, 359–362, Amsterdam 1977.
- STEININGER, F.F. & BAGDASARJAN, G.P.: Neue radiometrische Alter mittelmiozäner Vulkanite der Steiermark (Österreich), ihre biostratigraphische Korrelation und ihre mögliche Stellung innerhalb der paläomagnetischen Zeitskala. – Verh. Geol. B.-A., **85**–99, Wien 1977.
- STEININGER, F.F., BERNOR, R.L. & FAHLBUSCH, V.: European Neogene marine-continental chronological correlations. – In: LINDSAY, E.H., FAHLBUSCH, V. & MEIN, P. (eds.): European Neogene mammal chronology. – 15–46, New York (Plenum Press) 1990.
- STINY, J.: Gesteine vom Steinberge bei Feldbach. – Verh. Geol. B.-A., **133**–140, Wien 1923.
- SÜMEGHY, J.: Földtani megfigyelések a Rába-Zala közé eső területről. – Földt. Közl., **53**, 18–28, Budapest 1923.
- SZADECKY-KARDOSS, E.: Geologie der rumpfungarländischen kleinen Tiefebene. – 444 S., Sopron (Röttig-Romwalter) 1938.
- TOLLMANN, A.: Plattentektonische Fragen des mediterranen Orogens. – Mitt. Österr. geol. Ges., **69**(1976), 291–351, Wien 1978.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich. Band II. Außerzentralalpiner Anteil. – XV+710 S., Wien (Deuticke) 1985.
- TRAUSSING, H.: Das kohlenführende Neogen der Bubendorfer Bucht und seine kristalline Umräumung. – Unveröff. Diss. Univ. Graz, 190 S., Graz 1979.
- UNGER, J.H., FIEST, W. & NIEMEYER, A.: Die Bentonite der ostbayrischen Molasse und ihre Beziehungen zu den Vulkaniten des Pannonischen Beckens. – Geol. Jb., **D96**, 67–112, Hannover 1990.
- UNTCHJ, G.: Kenntnis der Basalte Steiermarks. – Inaugural Dissertation des Doctorgrades, Graz 1872.
- VASS, D., BAGDASARJAN, G.P. & STEININGER, F.: The Badenian radiometric ages. – In: Chronostratigraphie und Neostratotypen, **6**, Badenien, 35–45, Bratislava (Slowak. Akad. Wiss.) 1978.
- VETTERS, W.: Zur Genese des Tuffes von Pertlstein bei Feldbach (Steiermark). – Karinthin, **76**, 287–289, Klagenfurt 1977.
- WINKLER, A.: Das Eruptivgebiet von Gleichenberg in Oststeiermark. – Jb. Geol. R.-A., **63**, 403–502, Wien 1913.
- WINKLER, A.: Der Basalt am Pauliberg bei Landsee im Komitat Ödenburg. – Verh. Geol. R.-A., **355**–360, Wien 1913.
- WINKLER, A.: Beitrag zur Kenntnis des oststeirischen Pliocäns. – Jb. Geol. Staatsanst., **71**, 1–150, Wien 1921.
- WINKLER, A.: A kismagyaralföld szegélyén a Keletstájer medencében fellépő bazalt-kitörések kora és keletkezése. – Földt. Közl., **55**, 227–230, Budapest 1926.
- WINKLER, A.: Geologischer Führer durch das Tertiär- und Vulkanland des steirischen Beckens. – Samml. geol. Führer, **36**, 209 S., Berlin (Borntraeger) 1939.
- WINKLER, A.: Die Basaltlager Österreichs und ihre Bedeutung für Bodenwirtschaft und Bauwesen. – Naturwiss. Beitr. Heim. Kärntens., Carinthia II, **64**, 157–171, Klagenfurt 1954.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Geologisches Kräftespiel und Landformung. – 822 S., Wien (Springer) 1957.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Die jüngsttertiäre (sarmatisch-pannonisch-höherpliozäne) Auffüllung des Pullendorfer Beckens (= Landseer Bucht E. Sueß') im mittleren Burgenlande und der pliozäne Basaltvulkanismus am Pauliberg und bei Oberpullendorf-Stoob. – Sber. Österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., Abt. I, **143**–192, Wien 1962.
- ZIRKL, E.J.: Beitrag zur Kenntnis der Basaltvorkommen vom Pauliberg und Oberpullendorf im Burgenland und des Nephelinbasalts vom Steinberg bei Feldbach in Steiermark. – Burgenländische Heimatblätter, **15**, 135–142, Eisenstadt 1953.