

VULKANISMUS IM STEIRISCHEN BECKEN

von

Fritz Ebner⁺

Einleitung

Unter den Tertiärvorkommen am Alpenostrand nimmt das Steirische Tertiärbecken mit seinem ausgeprägten Vulkanismus eine Sonderstellung ein. Dieser stellt nur einen Teilausschnitt der gesamten magmatischen Aktivität im ALCAPA-Raum (Alpen-Karpaten-Pannonisches Becken) dar und steht genetisch in engem Zusammenhang mit der geodynamischen Entwicklung dieses Raumes.

Als eines der s.g. "Alpenostrandbecken" wird das Steirische Becken im Westen und Norden von ostalpinen Kristallin- und Paläozoikumseinheiten und im Osten vom Grundgebirgsaufbruch der Südburgenländischen Schwelle begrenzt. Die von Wildon über den Sausal nach Süden verlaufende Mittelsteirische Schwelle (= Sausalschwelle) trennt das flachere Weststeirische, vom über 3000 m tief absinkenden und in weitere Teilbecken gegliederten Oststeirischen Becken ab. Die den Zeitraum Ottnang - Pannon/Pont umfassende Sedimentfüllung dieses intramontanen Molassebeckens wird durch folgende Faktoren gesteuert:

- Meerestransgressionen (Karpat, Baden und Sarmat),
- Meeresregressionen mit Aussüßung der Restseen (Pannon, Pont),
- Synsedimentärer Tektonik,
- Massivem Vulkanismus (Karpat-Unterbaden; Plio-/Pleistozän).

Zeitlich und materialmäßig sind im Steirischen Becken zwei vulkanische Eruptionsphasen unterscheidbar:

1. Karpat - Unterbaden mit latitischen und 2. Plio-/Pleistozän mit basaltischen Gesteinen. Die jüngsten Zusammenfassungen über diese vielfältigen vulkanischen Gesteinsassoziationen finden sich durch H. HERITSCH in FLÜGEL & NEUBAUER (1984) und EBNER & SACHSENHOFER (1991) (cum lit.).

⁺ Prof. Dr. Fritz EBNER
Institut für Geowissenschaften
Montanuniversität Leoben
Peter Tunnerstraße 5, A-8700 Leoben

Der Vulkanismus der Landseer Bucht mit den Basalten von Oberpullendorf, Stoob und des Pauliberges (Datierungen Obersarmat - Unterpannon: $10,5 \pm 1,0$ bis $12,3 \pm 1,1$ BALOGH et al., 1992) und des Basaltes von Kollnitz/Lavanttal (Datierung Unterbaden: $14,9 \pm 0,9$ nach LIPPOLT et al., 1975; KOLMER, 1980a) runden das Bild des magmatischen Geschehens in den Tertiärbecken des Alpenostrandes ab.

Räumliche Verbreitung

Obertags gruppieren sich die Vulkanite innerhalb des Steirischen Beckens auf den Raum Klöch - Gleichenberg - Feldbach und Weitendorf/Wundschuh (Abb. 1). Weiters wurden in nahezu allen steirischen Sedimentfolgen des Zeitraums Karpat - Unterbaden von über 100 Fundpunktgruppen Glastuffe und deren Alterationsprodukte (Bentonit, Kaolinit) bekannt (EBNER, 1981; EBNER & GRÄF, 1982).

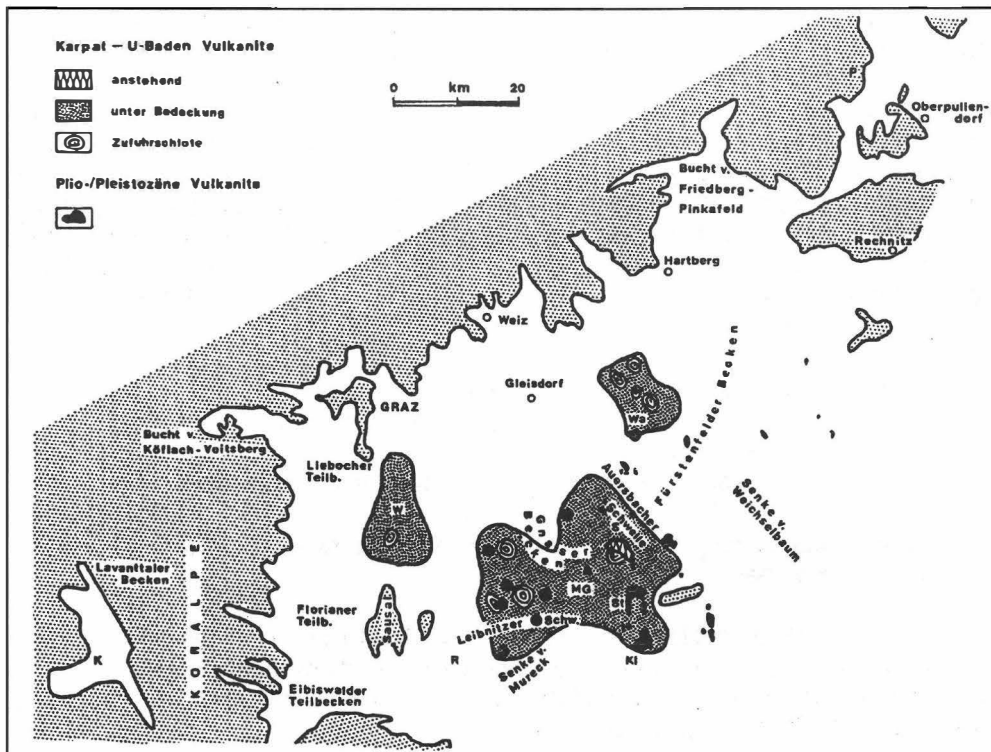


Abb. 1: Verbreitung tertiärer Vulkanite am Alpenostrand (nach EBNER & SACHSENHOFER, 1991). Legende: Karpat - Unterbaden: K Kollnitz, W Weitendorf/Wundschuh, R Retznei, MG Mitterlabill/Gleichenberg, Wa Ilz/Walkersdorf. Sarmat/Pannon: P Pauliberg, O Oberpullendorf, Stoob. Plio-/Pleistozän: St Hochstraden, KI Klöch, S Steinberg.

Der ältere miozäne Zyklus tritt in Obertagsaufschlüssen in den Gleichenberger Kogeln und in Weitendorf auf. Geophysikalische Untersuchungen und Erdölexplorationsbohrungen zeigten, daß durch diese vulkanische Tätigkeit zwei große Schildvulkane (Gleichenberg/Mitterlabill, Kalsdorf/Ilz) und das Vulkanmassiv um Weitendorf/Wundsschuh entstanden. Bis auf das Gleichenberger Massiv und dem Shoshonit von Weitendorf sind diese jedoch von jüngeren Tertiärsedimenten verhüllt und komplizieren derart die Internstruktur des Steirischen Beckens (EBNER et al., 1986; KRÖLL et al., 1988; EBNER & SACHSENHOFER, 1991; Abb. 2).

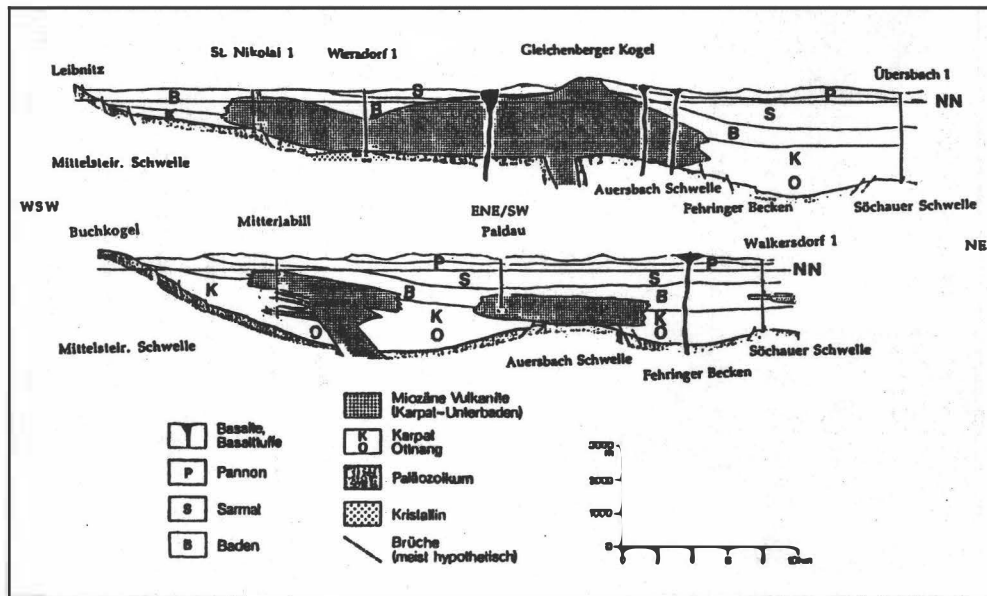


Abb. 2: Geologische Profile durch das Steirische Becken (nach EBNER et al., 1986).

In der plio-/pleistozänen Eruptionsphase wurde die gesamte ältere Schichtfolge in pipeartigen Strukturen von basaltischen Magmen durchschlagen. Heute an der Oberfläche auftretende Vulkanbauten sind u.a. Lavadecken (Stradner Kogel, Steinberg), Zufuhrspalten (Steinberg) und Calderen (Klöch). Weiters sind Pyroklastika weit verbreitet, die in Durchschlagsröhren (z.B. Riegersburg) und Explosionstrichtern (Kapfenstein) auftreten. Maarsedimente sind an Ringstrukturen gebunden (Beistein bei Fehring, Gnas).

Beckenentwicklung, Paläogeographie

Die Anlage des Steirischen Tertiärbeckens erfolgte im Endstadium der alpinen Orogenese als entlang überregionaler Scherbahnen die "Escape"-Scholle der östlichen Zentralalpen von aufsteigenden metamorphen Grundgebirgskuppeln nach Osten in

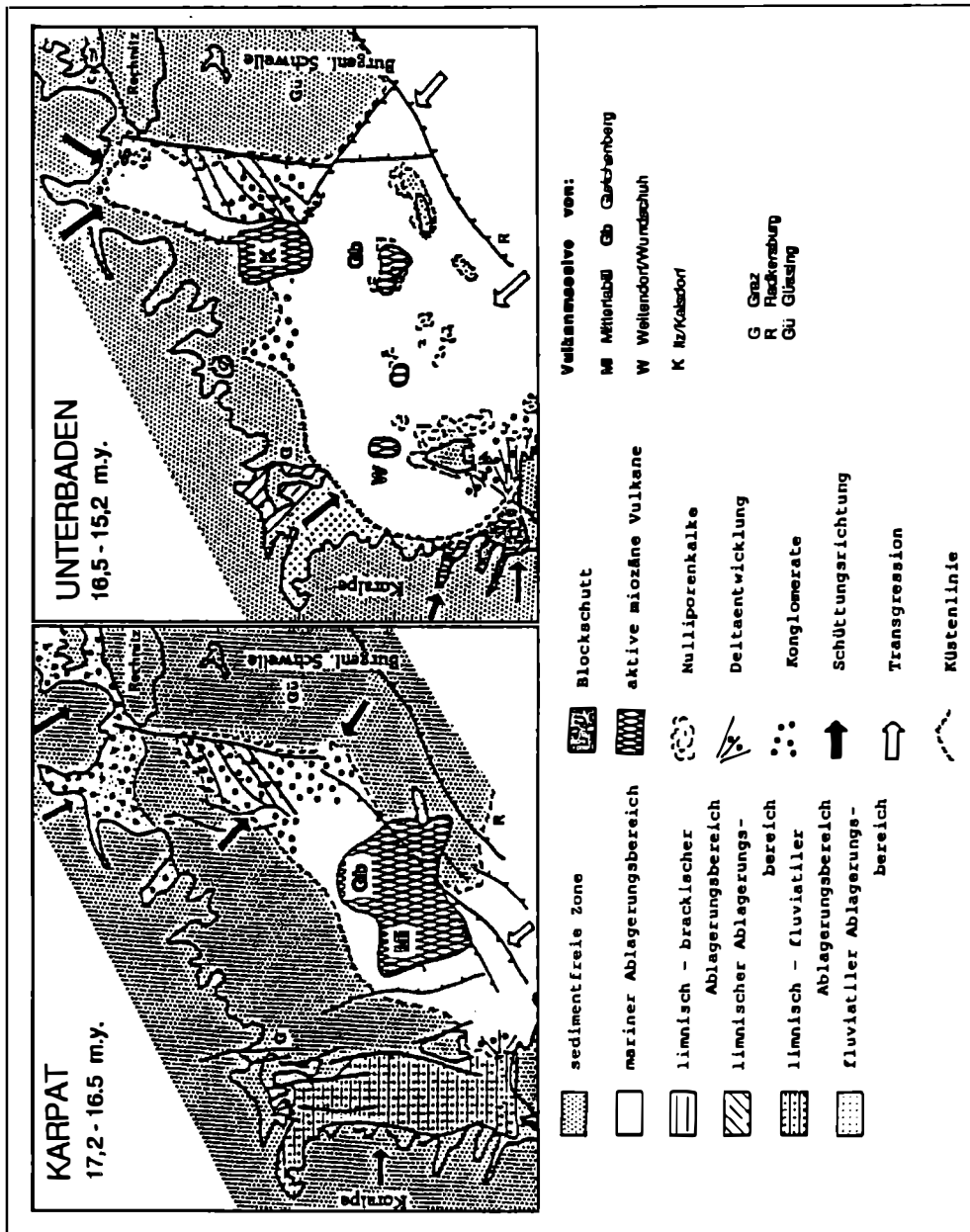


Abb. 3: Paläogeographische Situation im Karpas (links) und Unterbadan (rechts) im Steirischen Becken (nach EBNER & SACHSENHOFER, 1991).

den freien innerkarpatischen Raum gedrückt wurde. Im derart bewegten Krustenkeil entstanden grob N-S orientierte Extensionsbrüche, die im Zeitraum Karpas/Unter-

baden die größte Einsenkung und strukturelle Differenzierung des Steirischen Beckens bewirkten (NEUBAUER & GENSER, 1990; RATSCHBACHER et al., 1991; EBNER & SACHSENHOFER, 1991).

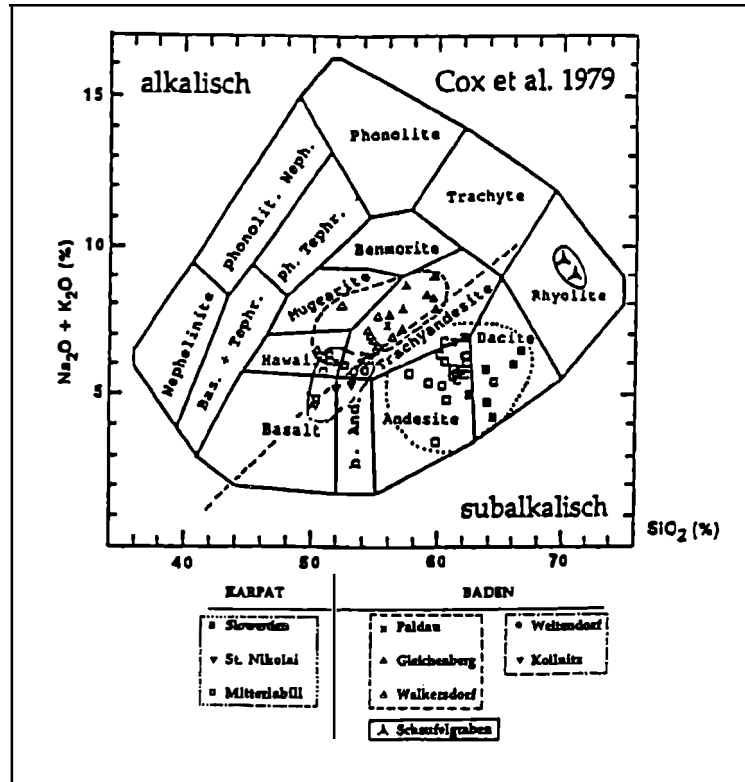


Abb. 4: Karpatisch/unterbadensische Vulkanite des Steirischen Beckens und Lavantales im Klassifikationsdiagramm nach COX et al. (1979) unter Berücksichtigung veröffentlichter Analysendaten (Lit. cit. bei EBNER & SACHSENHOFER, 1991).

Synsedimentäre Bruchtektonik mit lokalen Absenkungsraten im Karpat bis über 20 cm/100 Jahren (Fürstenfelder Becken), Schollenkippen (steirische Phase!) und die karpatisch-unterbadensische Meeresingression schaffen gemeinsam mit dem nun auflerbenden latitischen Vulkanismus die in Abb. 3 dargestellte paläogeographische Situation. Im Karpat zeichnet sich dabei der über 1200 m mächtige vulkanische Inselkomplex von Mitterlabill/Gleichenberg ab. Im Unterbadem verlagert sich die vulkanische Aktivität an den Nordrand des o.g. Massivs, zusätzlich entstehen die Vulkankomplexe von Weitendorf/Wundschuh und Ilz/Kalsdorf, während der Südteil der karpatischen Vulkaninsel bereits wieder vom Meer überflutet wird.

Der zweiten, basaltischen Eruptionsphase im Plio-/Pleistozän ist durch Upliftbewegungen bereits eine weitgehende Umgestaltung des Steirischen Beckens vom Sedimentations- zum Erosionsgebiet und eine nun beginnende Aufwölbung des Erdmantels unter dem Pannonischen Becken vorangegangen.

Altersdatierungen

Die Einstufung der älteren Vulkanphase ins Karpat/Unterbaden (Lageniden-Zone) erfolgt aufgrund biostratigraphischer (KOLLMANN, 1965; EBNER & GRÄF, 1977; KRAINER, 1987) und radiometrischer Befunde (STEININGER & BAGDASARJAN, 1977; KOLMER, 1980b; BALOGH et al., 1992) sowie regionalgeologischer Überlegungen (KOLLMANN, 1965; FLÜGEL & HERITSCH, 1968). Teilweise nicht mit geologisch/-paläontologischen Befunden vereinbare K/Ar-Gesamtgesteinsalter dürften bei zu hohen Altern auf einen Ar-Überschuß der Vulkanite und bei zu jungen Altern auf intensive postvulkanische Alteration (BARTH-WIRSCHING et al., 1990; KOLMER, 1980b) rückführbar sein (alle Angaben in Millionen Jahren).

Gleichenberger Massiv

KOLMER (1980b): $22,97 \pm 1,93$

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

BALOGH et al. (1992) (Gossendorf): $13,2 \pm 1,0$.

Weitendorf

LIPPOLT et al. (1975): $15,2 \pm 0,8$

STEININGER & BAGDSARJAN (1977): $16,8 \pm 0,75$; $16,0 \pm 0,3$

BALOGH et al. (1992): $16,8 \pm 0,75$.

Das K/Ar-Gesamtgesteinsalter der Basalte streut vom Roman/Daz bis ins älteste Pliozän (BALOGH et al., 1992; FLÜGEL & NEUBAUER, 1984). Geländebefunde wie auch normal und invers magnetisierte Anteile (MAURITSCH, 1972) weisen auf verschieden alte Ergüsse hin (alle Angaben in Millionen Jahren):

Wilhelmsdorf: $1,7 \pm 1,2$

Unterweißenbach (Bombe): $2,27 \pm 0,16$

Klöch: $2,6 \pm 1,2$

Mühdorf/Steinberg: $3,05 \pm 1,4$; $2,64 \pm 0,55$; $2,38 \pm 0,18$

Neuhaus (Bombe): $3,11 \pm 0,75$

Steinleiten: $3,75 \pm 0,5$.

Bemerkungen zur magmatogenen Entwicklung

Der Vulkanismus im Steirischen Becken, dem Lavanttal und der Landseer Bucht ist als Teil der magmatischen Aktivität im gesamten pannonischen Raum zu sehen. Der Bearbeitungsstand der karpatisch-unterbadischen 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).

Ausgehend von Bohrkernbearbeitungen für Inkohlungsuntersuchungen, Alterseinstufungen der ÖMV- und RAG-Bohrungen und EDV-mäßiger Erfassung aller publizierter Vulkanit-Analysendaten zeigten EBNER & SACHSENHOFER (1991), daß innerhalb der steirisch-slovenischen Vulkanprovinz zeitlich ein Wandern der vulkanischen Aktivität und damit auch eine Änderung des Magmencharakters zu erkennen ist. In Abb. 4 und 5 (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.

Die miozäne magmatogene Entwicklung des Steirischen Vulkanbogens deutet HERITSCH (1967) im Karpat und Baden derart, daß Alkali-Olivin-basaltische 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 (1980a) zeigte mit K/Sr- und Rb/Sr-Quotienten, daß aufgrund dieser Parameter das Weitendorfer 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, 1980a) steht das K/Ar-Alter des Kollnitzer Gesteins mit $14,9 \pm 0,9$ Ma (LIPPOLT et al., 1975).

Im $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{FeO}$ -Diagramm (Abb. 5) fallen die Vulkanite des Karpat und Unterbaden gänzlich in das kalkalkalische Feld. Im Sinne von RANDULESCU & SANDULESCU (1973) könnte dies als Argument für einen subduktionsbezogenen Vulkanismus gedeutet werden, wobei die Entwicklung zu alkalireichen Gesteinen im Baden und nördlicher Position eventuell mit einem Versteilen einer 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 subduzierten Platte kam (SALTERS et al., 1988). Gut mit der strukturellen Entwicklung des Steirischen Beckens läßt sich jedoch auch ein Modell von LANGE & CARMICHAEL (1991) vereinen, 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).

Die im Bereich der Landseer Bucht im Zeitraum Obersarmat - Unterpannon auftretenden Vulkanite sind Alkaliolivinbasalte, Trachydolerite und Olivintholeiite (POULTIDIS & SCHARBERT, 1986). Ihr Herkunftsbereich ist der obere Mantel, wo sie in seichteren Niveaus und unter einem höherem Aufschmelzungsgrad als die nachstehend diskutierten plio-/pleistozänen Basalte gebildet wurden (EMBEY-ISZTIN et al., 1985).

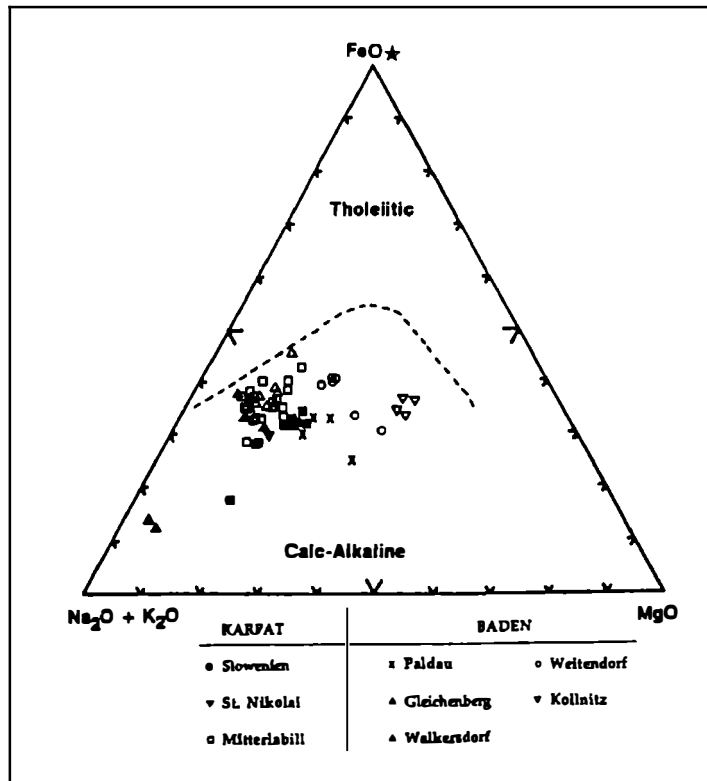


Abb. 5: Die Position der karpatisch/unterbadensichen Vulkanite des Steirischen Beckens fällt im Diagramm nach IRVINE & BARARGAR (1971) in das kalkalkalische Feld. Unter Berücksichtigung veröffentlichter Analysendaten (Lit. cit. bei EBNER & SACHSENHOFER, 1991).

Die petrologische und geochemische Variation der plio-/pleistozänen Vulkanite ist aus Abb. 6 ersichtlich. Nach EMBEY-ISZTIN et al. (1985) sind die Nephelinite des Stradner-Kogels die untersättigsten des gesamten pannonischen Raumes. Ihre Schmelzen wurden unter geringem Aufschmelzungsgrad in beträchtlicher Tiefe und bei hohen Drucken gebildet. 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 kbar angenommen werden (KURAT et al., 1980).

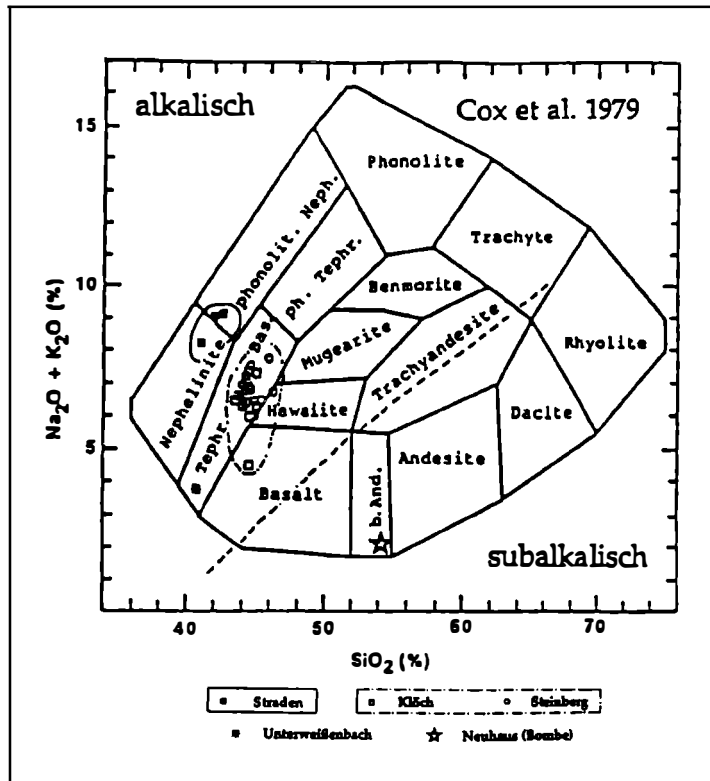


Abb. 6: Klassifikation plio-/pleistozäner Vulkanite im Diagramm nach COX et al. (1979) unter Berücksichtigung veröffentlichter Analysendaten (Lit. cit. bei EBNER & SACHSENHOFER, 1989).

Vulkanismus und Rohstoffe

Festgesteine

Trachyt/Trachyandesit als Schüttgut für den Straßenbau wird in der Gleichenberger Klause abgebaut. Der "Basalt" (Shoshonit) von Weitendorf findet als Gleisschotter und im Straßenbau Verwendung. Die derzeit wirtschaftlich interessantesten Vorkommen von Hartgesteinen liegen in den Lavaflows des jüngeren basaltischen Zyklus im Raum Klöch, Stradnerkogel und am Steinberg bei Feldbach. Sie liefern hochwertiges Hartgesteinsmaterial für den Bahn- und Straßenbau; aufgemahlen würden sie sich als Filtersande eignen. Ein weiterer Einsatzbereich ist in der Mineralwolle- und Schmelzbasaltherstellung gegeben.

Die Basalttuffe wurden früher gerne als Baustein verwendet. Die aufgelassenen Steinbrüche können den Bedarf für Restaurationsmaterialien decken.

Blähtone

Die derzeit im Werk Fehring zu LECA verarbeiteten Tone stammen zum Teil von Beistein/Burgfeld südwestlich von Fehring. Dieses Material findet sich als Maarsediment in einem ringförmig angeordneten Wall von pliozänen Basalttuffen. Mineralogisch überwiegen in den feinkörnigen, geschichteten Sedimenten (meist Tone bis schluffige Tone) Schichtsilikate (Muskovit, Illit, Montmorillonit, Kaolinit, Vermiculit, mixed layer-Minerales).

Bentonit, Trass

Neben den in den steirischen Tertiärbecken genetisch aus vitritischen Fallout-Glasaschen hervorgegangenen Montmorillonitvorkommen finden sich innerhalb des Gleichenberger Massivs auch Bentonite, die auf postvulkanische Solfatarentätigkeit rückführbar sind. Dabei wurden Trachyte und Trachyandesite zu SiO_2 -Phasen, Alunit, Kaolinit und Montmorillonit alteriert. Das größte dieser Vorkommen wurde bis 1968 im Bereich des heute bestehenden Trass-Bergbaues von Gossendorf abgebaut.

Das als Österreichischer Trass im Bergbau Gossendorf abgebaute Material besteht mineralogisch hauptsächlich aus Alunit und Opal, die ebenfalls im Zuge der o.g. Alterationen gebildet wurden (BARTH-WIRSCHING et al., 1990).

Kohlenwasserstoffe

Die bislang erfolglos gebliebene Exploration auf Kohlenwasserstoffe im Steirischen Becken ist zumindest zum Teil durch den miozänen Vulkanismus begründet. SACHSENHOFER (1991) wies in den karpatischen bis unterbadensischen Sedimenten bei Annäherung an die miozänen Vulkanschote mit Vitrinitreflexionsmessungen eine Zunahme des Reifegrades bis ins Steinkohlenstadium nach. Das bedeutet, daß Kohlenwasserstoffe bereits sehr frühzeitig (im Karpat und Unterbaden) aus einem potentiellen Muttergestein generiert wurden, als geeignete Speicher- und Deckgesteine noch nicht vorhanden waren.

Mineralwasser

Für die Bildung der Mineralquellen von Gleichenberg sind Störungs- und Kluftsysteme von Bedeutung entlang welcher meteorische Wässer zur Aufnahme der spezifischen Mineralisation in den Vulkanitkomplex eindringen können. Der CO_2 -Gehalt wird auf Entgasung aus einem juvenilen Reservoir zurückgeführt. Das Auftreten mineralisierter, kohlenensäurehaltiger Wässer ist die ober- und untertägige Verbreitung der Vulkanite und tiefgründige Bruchzonen kontrolliert.

Literatur

- BALOGH, K., EBNER, F., LOBITZER, H., RAVASZ, C., SOLTI, G. (1992): K/Ar-Alter tertiärer Vulkanite der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlands. - Kooperation Österreich-Ungarn, Vol. 2, Geol. B.-A, in Vorbereitung.
- BARTH-WIRSCHING, U., EHN, R., HÖLLER, H., KLAMMER, D., SITTE, W. (1990): Studies on hydrothermal alteration by acid solutions dominated by SO_4^{2-} : Formation of the alteration products of the Gleichenberg latitic

- rocks (Styria, Austria) - Experimental evidence. - Mineralogy and Petrology, 41, 81 - 103.
- COX, K.G., BELL, J.D., PANKHURST, R.J. (1979): The Interpretation of Igneous Rocks. - George Allen and Unwin, London.
- EBNER, F. (1981): Vulkanische Tuffe im Miozän der Steiermark. - Mitt.naturwiss.Ver. Steiermark, 111, 39 - 45.
- EBNER, F. (1990): Rohstoffpotential des Steirischen Tertiärbeckens. - BHM, 135, 363 - 371.
- EBNER, F., GRÄF, W. (1977): Die Fauna von Weitendorf. - Jber. Landesmus. Joanneum Graz, 1976, N.F. 6, 157 - 183.
- EBNER, F., GRÄF, W. (1982): Bentonite und Glastuffe der Steiermark. - Arch.-Lagerst.forsch.Geol. B.-A., 2, 31 - 45.
- EBNER, F., ERHART-SCHIPPEK, F., WALACH, G. (1986): Erdgasspeicher Oststeiermark - Geologische Gebietsauswahl. - Arch.Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 7, 5 - 17.
- EBNER, F., SACHSENHOFER, R.F. (1991): Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Teriärbeckens. Mitt.Abt.Geol.Paläont.Landesmus.Joanneum, 49, 96 S., Graz.
- EMBEY-ISZTIN, A., PELTZ, S., POKA, T. (1985): Petrochemistry of the Neogene and Quaternary basaltic volcanism in the Carpathian Basin. - Fragmenta Mineralogica et Paleontologica, 12, 5-18.
- FLÜGEL, H., HERITSCH, H. (1968): Das Steirische Tertiärbecken. - Sammlung geol. Führer, 47, 196 S., Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- FLÜGEL, H.W., NEUBAUER, F. (1984): Steiermark. - Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen, 126 S., 1 Karte, Geol. B.-A., Wien.
- GREEN D.H., RINGWOOD A.E. (1967): The Genesis of Basaltic Magmas. Contrib. Mineral. Petrol., 15, 103 - 190.
- HERITSCH, H. (1967): Über die Magmenentfaltung des steirischen Vulkanbogens.- Contrib. Mineral. Petrol., 15, 330 - 344.
- HÖLLER, H., KOLMER, H., WIRSCHING, U. (1976): Chemische Untersuchungen der Umwandlung glasiger Tuffe in Montmorillonit- und Kaolinit-Minerale. - Jb. Miner., Mh., 1976, 456 - 466, Stuttgart.
- IRVINE, T.N., BARAGAR, W.R.A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. - Can. J. Earth Sci., 8, 523-548.
- KRÖLL, A., FLÜGEL, H.W., SEIBERL, W., WEBER, F., WALACH, G., ZYCH, D. (1988): Erläuterungen zu den Karten über den prätertiären Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle.- 49 S., Geol. B.-A., Wien.
- LIPPOLT, H.J., BARANYI, I., TODT, W. (1975): Das Kalium-Argon Alter des Basaltes von Kollnitz im Lavanttal. - Der Aufschluß, 26, 69-94.
- KOLLMANN, K. (1965): Jungtertiär im Steirischen Becken.- Mitt. geol. Ges. Wien, 57, 479 - 632.
- KOLMER, H. (1980a): Die Verteilung von Rubidium und Strontium in den Basalten von Weitendorf/Stmk. und Kollnitz/Ktn. - Mitt.naturwiss.Ver. Steiermark, 110, 27 - 31.
- KOLMER, H. (1980b): Das Rb/Sr-Alter oststeirischer Vulkanite. Mitt.naturwiss. Ver. Steiermark, 110, 23 - 26.

- KURAT, G., PALME, H., SPETTEL, B., BADDENHAUSEN, H., HOFMEISTER, H., PALME, Ch., WÄNKE, H. (1980): Geochemistry of ultramafic xenoliths from Kapfenstein, Austria: Evidence for a variety of upper mantle processes. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 45-60.
- LANGE, R.A., CARMICHAEL, I.S.E. (1991): A potassic volcanic front in western Mexico: The lamprophyric and related lavas of San Sebastian. - *Geol. Soc. Am. Bull.*, 103, 928-940.
- LEXNER, J., KONECNY, V. (1979): Relationship of the Carpathian volcanic arc to the geodynamic Evolution of the Pannonian Basin. - *Bull. geodyn. Invest. in Czechoslovakia, Bratislava*, 231-235.
- MAURITSCH, H. (1972): Paläomagnetische Messungen an west- und oststeirischen Vulkaniten. - *Arch. Lagerst.forsch. Ostalpen*, 13, 35 - 57, Leoben.
- NEUBAUER, F., GENSER, J. (1990): Architektur und Kinematik der östlichen Zentralalpen - eine Übersicht. - *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 120, 203 - 219.
- POULTIDIS, H., SCHARBERT, H.G. (1986): Bericht über geochemisch-petrologische Untersuchungen an basaltischen Gesteinen des österreichischen Teils der transdanubischen vulkanischen Region. - *Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl.*, 123, 65 - 76.
- RATSCHBACHER, L., BEHRMANN, J.H., PAHR, A. (1990): Penninic windows at the eastern end of the Alps and their relation to the intra-Carpathian basins. - *Tectonophysics*, 172, 91 - 105.
- RANDULESCU, D.P., SANDULESCU, M. (1973): The Plate-Tectonics Concept and the Geological Structure of the Carpathians. - *Tectonophysics*, 16, 155-161.
- SACHSENHOFER, R. (1991): Maturität im Steirischen Tertiärbecken. - *Erdöl, Erdgas, Kohle*, 107, 12 - 17.
- SALTERS, V.J.M.; HART, S.R., PANTO, Gy. (1988): 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.
- STEININGER, F.F., BAGDASARJAN, G.P. (1977): Neue radiometrische Alter mittelmiozäner Vulkanite der Steiermark (Österreich), ihre biostratigraphische Korrelation und mögliche Stellung innerhalb der paläomagnetischen Zeitskala. - *Verh. Geol. B.-A.*, 1977, 85 - 99.