

# Altes und Neues zum neogenen Vulkanismus in Österreich

Ingomar FRITZ

Geologie und Paläontologie, Landesmuseum Joanneum, Raubergasse 10, A-8010 Graz

*Betrachten Sie Jahre lang diesen Vulkan;  
durchspähen Sie jeden Winkel seines Abhanges. -  
Oft glauben Sie dem Punkte nahe zu seyn, in dem  
alle diese Erscheinungen zusammenlaufen; aber  
bald darauf sehen Sie ihn von sich entfernter als je,  
und fast halten Sie ihn endlich dem Kreise  
gegenwärtiger Naturgesetze gänzlich entrückt.*

Aus: HARTMANN C. (1841): Die Schöpfungswunder der Unterwelt.

## Einleitung

Die vulkanogeologische Bearbeitung der neogenen Vulkanvorkommen Österreichs steht, abgesehen von thematischen Ansätzen (FRITZ 1996 a,b; PÖSCHL 1991 a,b), noch auf dem Stand der Erhebungen von WINKLER-HERMADEN aus der Vorkriegszeit. Eine detaillierte geologische Neubearbeitung der Vulkanbauten steht ebenso aus wie eine umfassende petrologische und geochemische Erfassung dieser Gesteine. Dem ehrgeizigen Vorhaben der Arbeitsgruppe Stratigraphie der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, eine lithostratigraphische Neugliederung der geologischen Einheiten in Österreich koordiniert durchzuführen, liegen die *Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur* von STEININGER & PILLER (1999) zugrunde. Die praktische Anwendung dieser Richtlinie für magmatische Gesteine erscheint jedoch problematisch.

## Historischer Rückblick

Die Wurzeln der thematischen Auseinandersetzung mit den vulkanischen Erscheinungen der Oststeiermark reichen bis an den Beginn des vorigen Jahrhunderts zurück. Die wichtigsten wegweisenden Erkenntnisse der damaligen Gelehrten werden zusammengefaßt und teilweise, soweit sie als richtungsweisende Erkenntnisse zu werten sind, zitiert.

Der Kampf zwischen Anhängern des Plutonismus und denen des Neptunismus an der Wende 18./19. Jh. war Voraussetzung für eine intensive Auseinandersetzung mit den vulkanischen Erscheinungen. Forscher aus verschiedenen europäischen Ländern unternahmen Reisen zu aktiven, aber auch zu erloschenen Vulkanen bzw. zu deren Förderprodukten. Einzelne dieser vulkanischen Bildungen (z.B. Mantelxenolithe, früher „Olivinbomben“) aus dem Steirischen Raum waren aufgrund ihrer Besonderheit und dem daraus folgenden Handelswert schon weit über bestehende Grenzen bekannt und erhielten nunmehr Beachtung anerkannter Forschung. So waren die Erkenntnisse über die *Verbindung des Trachyts mit den Vulkanen*, der *Zusammenhang zwischen Trachyt und basaltischen Gesteinen* sowie die *große Analogie von Basalt und Porphyry* Voraussetzungen für ein gezieltes Aufsuchen und Erkennen von vulkanisch entstandenen Gesteinen in der Oststeiermark am Beginn des vorigen Jahrhunderts (BUCH 1819, 1821).

Professor Mathias Anker wird von Leopold von BUCH (1819) als Entdecker *dieser merkwürdigen Gebirgsart in den südlichen Theilen von Deutschland* bezeichnet. Dieser hat während seiner Tätigkeit als Kustos am Joanneum zu Graz unter anderem *die Lagerstätte der ungeheuren Köpfe von Olivin* aufgesucht und im Zuge dessen vielfach auf den *höchst merkwürdigen Porphyrberg* (Gleichenberger Kogel) hingewiesen.

Leopold von Buch referierte 1819 in der königlichen Preußischen Akademie der Wissenschaften zum Thema: *Über einige Berge der Trapp-Formation bey Grätz*, wobei er die Ergebnisse einer Studienreise, die er um 1818 nach Oststeier unternahm, präsentierte. Dieses Referat wurde in eben diesen Abhandlungen und in weiterer Folge 1821 auch in der Steiermärkischen Zeitschrift abgedruckt und ist somit der erste publizierte Bericht zu Vulkaniten der Steiermark.

Leopold von Buch stellt darin Übereinstimmung zwischen der Gebirgsart des *Kapfensteines* und dem hoch aufsteigenden *Riegersberg* fest. Er beschreibt dieses *scheinbar angeschwemmte Gesteine mit schlechter Schichtung und wenigem Zusammenhalte*, das *nirgends fest genug ist, um es als Baustein zu benutzen, oder überhaupt nur zu brechen, als basaltisches Konglomerat, von blasigen, eckigen Stücken, mit vielen eckigen, leeren Zwischenräumen*. Der Entstehung dieser geologischen Bauten legt er nachfolgende Erklärung zugrunde: *Es sind also diese Berge wieder nichts anderes, als ausgehend von basaltischen Gängen, welche die Trümmer vor sich her und heraufschieben, und sie nöthigen auch Striche von den Gebirgsarten zu umwickeln, welche sie durchbrechen. Es ist daher wohl zu vermuthen, daß jeder dieser basaltischen Konglomeratberge in seinem Inneren einen festen Kern, einen Gang von Basalt enthalte; und es ist aus den vielen umwickelten Granitstücken recht wahrscheinlich, daß Granit hier unter dem Gerölle anstehen und durchbrochen sein möge*.

Nachfolgend angeführte Forscher haben sich mit den vulkanischen Bildungen in der Oststeiermark beschäftigt: SEDGWICK & MURCHISON (1831), ANKER (1835), PARTSCH (1836), UNGER (1843), MORLOT, v. (1847), FRIEDAU, v. (1849), und DAUBENY (1850).

Am 6. Dezember 1850 erfolgte die Gründung des „geognostisch-montanistischen Vereins für Steiermark“, dessen Zweck darin bestand, möglichst genaue geologische Kenntnisse über die Steiermark zu erlangen und zu verbreiten (WEISS 1982). Über diesen Verein konnte zwischenzeitlich der Dozent der Mineralogie zu Halle an der Saale, Dr. Carl Justus Andrae, angestellt werden. Dieser schreibt (1855) in seinem „Bericht über die Ergebnisse geognostischer Forschungen im Gebiet der 14., 18. und 19. Section der General-Quartiermeisterstabkarte von Steiermark und Illyrien während des Sommers 1854“ unter anderem wie folgt: *Bei der Begehung war mein Augenmerk vorzüglich darauf gesetzt, die räumliche Ausdehnung der vulcanischen Gesteine und der verschiedenen tertiären Ablagerungen so viel als möglich genau zu ermitteln ...* Da dieser Bericht einen historischen Höhepunkt in der Erforschung des Steirischen Tertiärs darstellt, sollen einige Textpassagen angeführt werden, die als Basis für weitere Forschungen und Erkenntnisse im Vulkangebiet der Oststeiermark angesehen werden können und auch im Zuge einer modernen vulkanologischen Bearbeitung eine wesentlich Rolle spielen:

*Basalt, Basalttuff und Conglomerat erscheinen in so inniger Beziehung, dass, wenn gleich letztere grösstentheils unter Mitwirkung des Wassers gebildet, zum Theil auch umgebildet wurden, und sich zufolge ihrer deutlichen Schichtung und nach ihren organischen Einschlüssen den tertiären Sedimenten anreihen, sie bei Betrachtung des ersteren nicht füglich davon getrennt werden können und demnächst hier schon eine Berücksichtigung finden.*

*Die bisher geschilderte grosse Mannigfaltigkeit der Gesteine in diesem Höhenzuge bei Gleichenberg ist sicher von ganz besonderem Interesse, da sie uns nicht nur recht augenfällig zeigt, dass dieses mächtige Schuttdepot allein aus den in grösster Nähe anstehenden Gebirgsarten und zerstreuten Tertiärgeschieben gebildet, sondern auch während und nach der Ablagerung im Laufe langer Zeiträume vielfach chemisch verändert wurde.*

*Die im weiteren Umkreise und weit entfernter vom massigen Basalt befindlichen Tuffablagerungen sind bei weitem einfacher zusammengesetzt, indess weisen sie manche Erscheinungen auf, die bisher sparsam oder gar nicht wahrgenommen wurden. Zunächst ist ihnen, ähnlich den oben beschriebenen, eigenthümlich, dass ihre Bildung in einem innigen Zusammenhange mit dem sie umgebenden Sand-Mergel und selbst den Geschiebeablagerungen steht,*

und zwar in der Art, dass sich je nach dem Vorwalten des einen oder des andern Sedimentes in der Gegend, die Beimengungen im vulcanischen Schutte darnach richten.

Bemerkenswerth ist, dass gerade die Gesteinsfragmente und eigenthümlichen Einmengungen dieser Tuffbildungen Merkmale einer bedeutenden Hitzewirkung an sich tragen; so sind die an mehreren Orten häufig eingebetteten Quarzgeschiebe, aus den Hangendlagen der hiesigen Tertiärformation stammend, namentlich am Dollinger Kogel, offenbar geröstet, in Folge dessen sie, ungeachtet ihres äusserlich frischen Aussehens, bei dem leisesten Schlage in kleine Körnchen zerfallen, die sich dann zwischen den Fingern oft weiter zu Pulver zerreiben lassen.

In Basaltschlacken eingewickelte Granitfragmente, die ich ebenfalls von Tertiärgeschieben herleite und vorzugsweise am Kapfenstein gefunden werden, verhalten sich augenscheinlich wie Massen, die bei vulcanischen Ausbrüchen in glühende Laven gerathen, eine Veränderung in Korn und Gefüge erfahren haben.

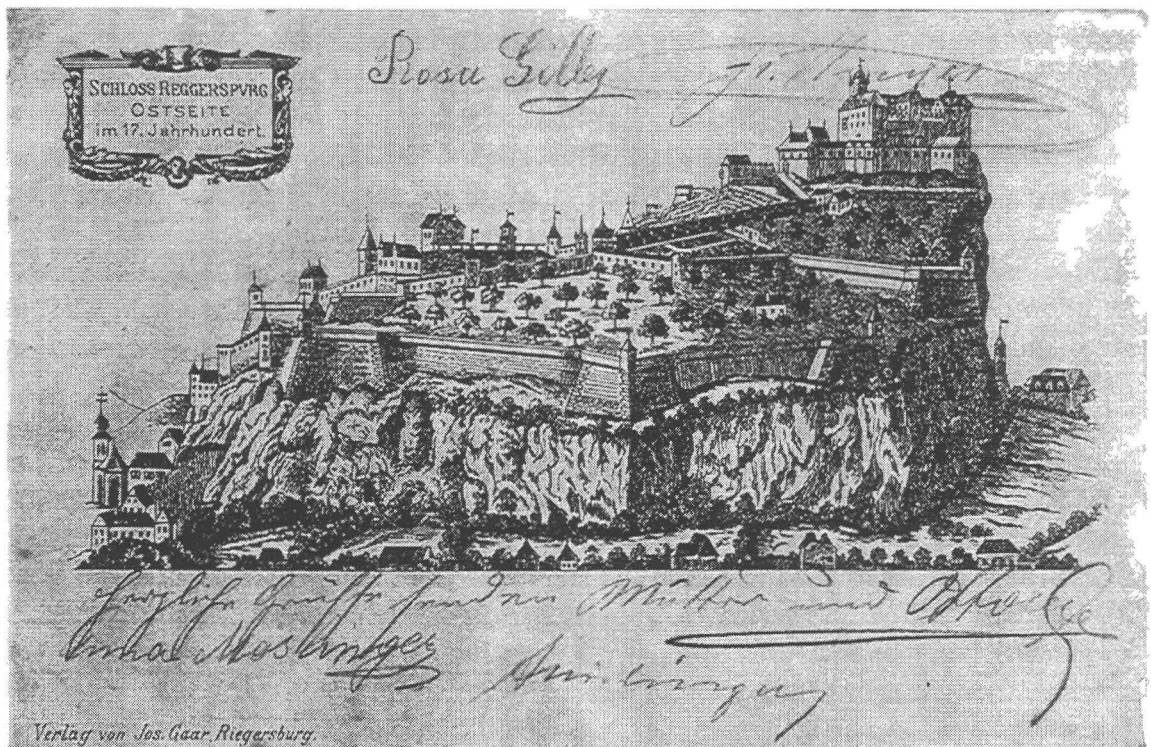


Abb. 1: Postkarte mit Ansicht von Schloss Reggersburg Ostseite im 17. Jh. (Verlag Jos. Gaar, Riegersburg; Sammlung FRITZ)

Der eben so malerische als imponirende Tuffelsen der Riegersburg, wird vorwaltend aus einem festen, grauen, sandigen Basaltdetritus gebildet, der aber oft wackenartig und durch stellenweise zahlreich eingemengte Tertiärgeschiebe conglomeratisch erscheint. Er erhebt sich ringsum schroff, wobei sein langgestreckter Gipfel von Süden nach Norden terrassenartig ansteigt. Auf dem höchsten Vorsprunge liegt das Ritterschloss Kronegg, an welchem namentlich nord- und ostwärts die Felsen jäh in die Tiefe stürzen. Die Lagerungsverhältnisse des Gesteines sind sehr merkwürdig, da dasselbe in verschiedenen Höhen verschiedenen Streichungslinien und Fallwinkeln folgt;

Ich habe früher mehrfach darauf hingewiesen, dass ein Theil des Materials der Tuffablagerungen durch Anschwemmung aus der Nähe herbeigeführt wurde, und daher die darin vorkommenden Gesteinsfragmente immer in Beziehung zur unmittelbaren Umgebung stehen; gleichwohl ist bei weitem der grösste Theil des Tuffmaterials als Dejectionsgebilde zu betrachten, wohin Lapilli, vulcanischer Sand, Schlacken und Bomben zu rechnen sind, die mit den obigen gemengt und unter Wasser stratificirt wurden. In den Basalt-Territorien

*haben diese Auswürflinge nichts Befremdendes, da der vulcanische Herd hier sichtbar ist; aber in den fern von Basalt gelegenen Tuffschichten, welche so zahlreiche Schlacken und Olivinbomben, und selbst geröstete Kieselgeschiebe führen, frappirt deren Erscheinung. Solche Straten sind nach Analogien anderweitig bekannter Vorkommen als Decken anzusehen, womit der vulcanische Herd sich überschüttete, und unter welchen er verborgen blieb, indem selbst später wiederholte vulcanische Thätigkeit an einigen Puncten nur eine Hebung der Schichten hervorrief (die sich am Kapfenstein z. B. nicht unbedeutend zeigt), aber keinen Durchbruch des Basaltes bewirkte, was anderwärts wohl beobachtet worden ist. Manche unserer Tuffmassen, wie am Dollinger Kogel, Waxenegg u. a. O., sind höchst wahrscheinlich durch untermeerische, schlammartige Auswürfe entstanden, wie man diess theilweise vom Peperino annimmt, womit die erwähnten Gesteine in der That auch eine grosse Aehnlichkeit haben.*

Nachfolgend kam es in diesem Forschungsbereich zu einer Ruhephase, ausgenommen einer kurzen Erwähnung in STOLICZKA (1863), die erst im Jahre 1871 durch das bedeutende und umfassende Werk von Stur „Geologie der Steiermark“ unterbrochen wurde.

Daran anschließend haben sich einige Forscher mit den Vulkaniten der Oststeiermark auseinandergesetzt und dazu kleinere Publikationen verfaßt (UNTCHJ 1872, HOFMANN 1874, CLAR 1874, PENCK 1879, HOERNES 1880, HUSSAK 1880). CLAR (1878) beschreibt erstmals neben dem *schneepflugförmigen Felsenriff der Riegersburg* auch das Vulkangebiet von Altenmarkt und zwar mit folgenden Worten: *Die beiden Gehänge des bei Riegersburg von Westen her einmündenden Grazbachthales werden von mächtigen Tufflagern gebildet, die im nördlichen Gehänge nach Nordwesten, im südlichen nach Südwesten fallend, mit den nach Südosten fallenden Tuffen der Riegersburg sich zwanglos zu einem jetzt durch die Erosion in drei Theile getheilten Aschenkegel vereint denken lassen.*

Die zahlreichen Publikationen von SIGMUND (1895, 1897, 1899, 1902, 1904) mit überwiegend petrographischen Inhalten trugen wesentlich zur Kenntnis der verschiedenen Gesteinstypen bei und halfen auch, Anhaltspunkte über ihre Entstehungs- und Bildungsbedingungen abzuleiten. SIGMUND (1899) beschreibt das Gestein von Riegersburg als Tuff, der aus erbsengroßen, porösen Magmenbasaltlapilli und stark zersetzten Palagonitkörnern zusammengesetzt ist. Die Verkittung erfolgt durch natrolithischen, kalzitischen oder palagonitischen Zement. Zudem beschreibt er auch die sedimentären Einschlüsse, wie z. B. die taubeneigroßen Quarzgeschiebe und die sehr häufig vorkommenden Mergelknauer.

In weiterer Folge ziehen sich die mineralogisch-petrographischen Bearbeitungen wie ein roter Faden bis in die Gegenwart. In den angegebenen Arbeiten ist auch weiterführende Literatur zu finden:

AGIORGITIS (1968), HAUSER (1957), HERITSCH (1963, 1965, 1967, 1975, 1976), HERITSCH & HÜLLER 1973, HÖLLER 1965, HERITSCH & ROHANI 1973, KOLMER (1980), KURAT et al. (1976, 1980), POULTIDIS (1981), SCHOKLITSCH (1932, 1933, 1935a,b), TAUCHER et al. (1992).

Die bedeutendsten Ergebnisse zur vulkanogeologischen Erforschung des Steirischen Beckens lieferten die Arbeiten von Winkler-Hermaden. Ab dem Jahr 1912 führte er intensive Geländebegehungen durch, wobei er dem Vulkanismus großes Augenmerk schenkte. Die Ergebnisse seiner Forschungen fanden in unzähligen Publikationen ihren Niederschlag, wobei hier nur einige repräsentativ angeführt werden sollen (WINKLER-HERMADEN 1913, 1914, 1926, 1927a,b, 1928, 1939, 1940, 1957a,b). Seine Bearbeitungen beschränkten sich nicht nur auf das Oststeirische Becken, sondern er bezog auch dessen Umrahmung und die angrenzenden Nachbarländer in seine Überlegungen mit ein und entwickelte, basierend auch auf den Erkenntnissen seiner Vorgänger, ein paläogeographisches Modell unter besonderer Berücksichtigung des Vulkanismus, das im wesentlichen bis heute gültig ist.

HERITSCH (1915) setzt sich mit der Entstehung des Tuffkegels von Kapfenstein auseinander. Er folgert aus dem Vorhandensein einer Diskordanz und den stark schwankenden Einfallrichtungen, daß der Bildung dieses Tuffkomplexes zwei Eruptionsphasen zugrunde liegen und vergleicht die Bildung mit dem Aussehen des Vesuvs im Jahre 1910. Ob es in diesem Zusammenhang zur Erweiterung des primären Schlotes kam oder zur Bildung eines weiteren Schlotes, läßt er offen.

Seit dem Jahr 1987 führt das Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Graz Kartierungskurse im Oststeirischen Vulkangebiet durch, die schließlich auch zu einer Diplomarbeit (PÖSCHL 1991) führten, in der schon der thematische Ansatz einer anzustrebenden vulkanogeologischen Neubearbeitung der plio-/pleistozänen Vulkanbauten der Oststeiermark gemacht wurde.

Einen wesentlichen Beitrag zum Wissen über den geologischen Werdegang des Steirischen Beckens lieferten auch die Untersuchungen der Rohstoffindustrie. Allen voran sind die Ergebnisse der Rohölaufsuchungsgesellschaft (RAG) und des Österreichischen Mineralölverbandes (ÖMV, seit 1995 OMV) aus geophysikalischen Prospektionsarbeiten und nachfolgenden Tiefbohrungen anzuführen. Aber auch im Bereich Industriemineralien führte gezieltes Auf- und Untersuchen von Rohstoffen zu interessanten Ergebnissen. Als Beispiel soll die angestrebte Suche nach syn- bis postvulkanischen Seetonbildungen (Maarsee-sedimente) wegen deren hervorragender Blähfähigkeit und daraus resultierender Eignung als wärme- und wasserspeicherndes Medium erwähnt werden (EBNER & GRÄF 1979, HÖLLER 1982, VINZENZ 1988). Im Zuge eines Projektes zur Aufnahme und Bewertung von Dekor- und Nutzgesteinen der Steiermark wurden auch die tertiären Vulkanite aufgenommen. Eine diesbezügliche Übersicht findet sich in NIEDERL & SUETTE (1986) mit Beiträgen zu gesteins-technischen Untersuchungen von Zirkl.

In diesem Zusammenhang sollte auch der Themenbereich Thermal- und Mineralwasser nicht unerwähnt bleiben, da auch hierbei ein Bezug zu ehemaliger vulkanischer Aktivität gegeben ist (ZÖTL & GOLDBRUNNER 1993; ZETINIGG 1994). Zetinigg geht in seiner zusammenfassenden landeskundlichen Darstellung sehr detailliert auf die Mineral- und Thermalquellen des Steirischen Beckens ein. Neben genauen Ortsangaben und historischen Informationen zu den Quellen findet man darin auch zahlreiche Wasseranalysen. Die in jüngster Zeit abgeteufte Tiefbohrungen versorgen nicht nur einige Gemeinden mit Warmwasser, das vorwiegend als Thermalwasser genutzt wird, sondern haben auch wesentlich zum Verständnis über den geologischen Aufbau der Oststeiermark beigetragen. Gemeinsam mit den Explorationstiefbohrungen der Erdölgesellschaften trugen und tragen sie dazu bei, daß die Region der Oststeiermark als Thermenland touristisch einen bedeutenden Aufschwung erlebt hat (Bad Gleichenberg, Bad Waltersdorf, Bad Radkersburg, Loipersdorf, Blumau).

Übersichtswerke zum Steirischen Tertiär mit zusammenfassenden Ergebnissen über den Vulkanismus der Oststeiermark und entsprechenden Literaturquerverweisen finden sich in EBNER & SACHSENHOFER (1991), FLÜGEL & NEUBAUER (1984), FLÜGEL & HERITSCH (1968), KOLLMANN (1965), WINKLER-HERMADEN (1939, 1957b). Der oststeirische Vulkanismus war nach 1970 im Jahre 1994 zum zweiten Mal ein Hauptthema im Rahmen der Tagung der Österreichischen Geologischen Gesellschaft. Aus diesem Anlaß wurde auch ein Exkursionsführer zusammengestellt, in dem unter anderem die aktuellste Literatur zum Steirischen Tertiärbecken zusammengefaßt wurde (HOLZER et al., 1994).

### **Anlage und Paläogeographische Entwicklung des Oststeirischen Beckens**

Dieses Kapitel wird ausführlich von Martin Groß in diesem Band behandelt.

Der junge Steirische Vulkanismus, dessen Alter mittlerweile im Grenzbereich Plio-/Pleistozän angesiedelt wird (BALOGH et al. 1989, 1994), wird durch einige effusive Ereignisse (z.B. Klöch, Hochstraden, Steinberg) und zahlreiche explosive Ausbrüche in Form

von Tuffschloten dokumentiert. Die gelegentlich vorkommenden postbasaltischen Sedimente (Feinkiese, Staublehme) werden als tiefgreifende Verwitterungsdecken, teilweise aber als Höhenfluren mit großer Erstreckung (vom Korralpenraum bis nach Ungarn) interpretiert, denen eine präglaziale Bildungszeit zugeordnet wird (WINKLER-HERMADEN, 1957b).

Die Herausmodellierung der Landschaft erfolgte im wesentlichen seit dem Pleistozän, wobei das heutige morphologische Erscheinungsbild auch durch Rutschungen und anthropogene Eingriffe (großflächige Planierungen) geprägt wird. Die verwitterungsbeständigeren vulkaniklastischen Ablagerungen formen zum Teil steile Geländestufen und bilden mit dem Burgfelsen der Riegersburg einen landschaftlichen Höhepunkt im oststeirischen Vulkangebiet.

### **Räumliche Lage der neogenen Vulkanite**

Basierend auf der derzeit verwendeten zeitlichen Gliederung der österreichischen neogenen Vulkanite werden nach geographischen Gesichtspunkten nachfolgend angeführte Vorkommen unterschieden:

Oststeirisches Becken (vgl. Abb. 2):

Miozän: Mitterlabil - Paldau - Gleichenberg - Perbersdorf - St. Nikolai, Kalsdorf, Ilz – Walkersdorf, Aschau, (inkl. Tiefbohrungen), Bentonitlagen in der Friedberger Bucht und in Tiefbohrungen (z.B. Übersbach)

Plio-/Pleistozän: Stadtbergen, Stein bei Fürstenfeld, Edelsbach, Altenmarkt – Riegersburg, Auersbach, Unterweißenbach, Steinberg bei Feldbach, Pertlstein, Schwengental, Forstkogel, Vulkangebiet südlich von Fehring (Burgfeld, Kuruzzenkogel, Beistein, Döllingkogel, Waxenegg, Zinsberg), Petersdorf I, Kapfenstein, Bad Gleichenberg (Wirberg, Röhrkogel, Sulzberg, Mohrenkogel), Gnas, Stradner Kogel, Königsberg - Klöch

Weststeirisches Becken:

Miozän: Weitendorf - Wundschuh, Retznei, Bentonitlagen im Weststeirischen Becken

Inneralpine Neogenbecken:

Murtal, Mürztal,

Lavanttal

Miozän: Kollnitz

Südburgenland

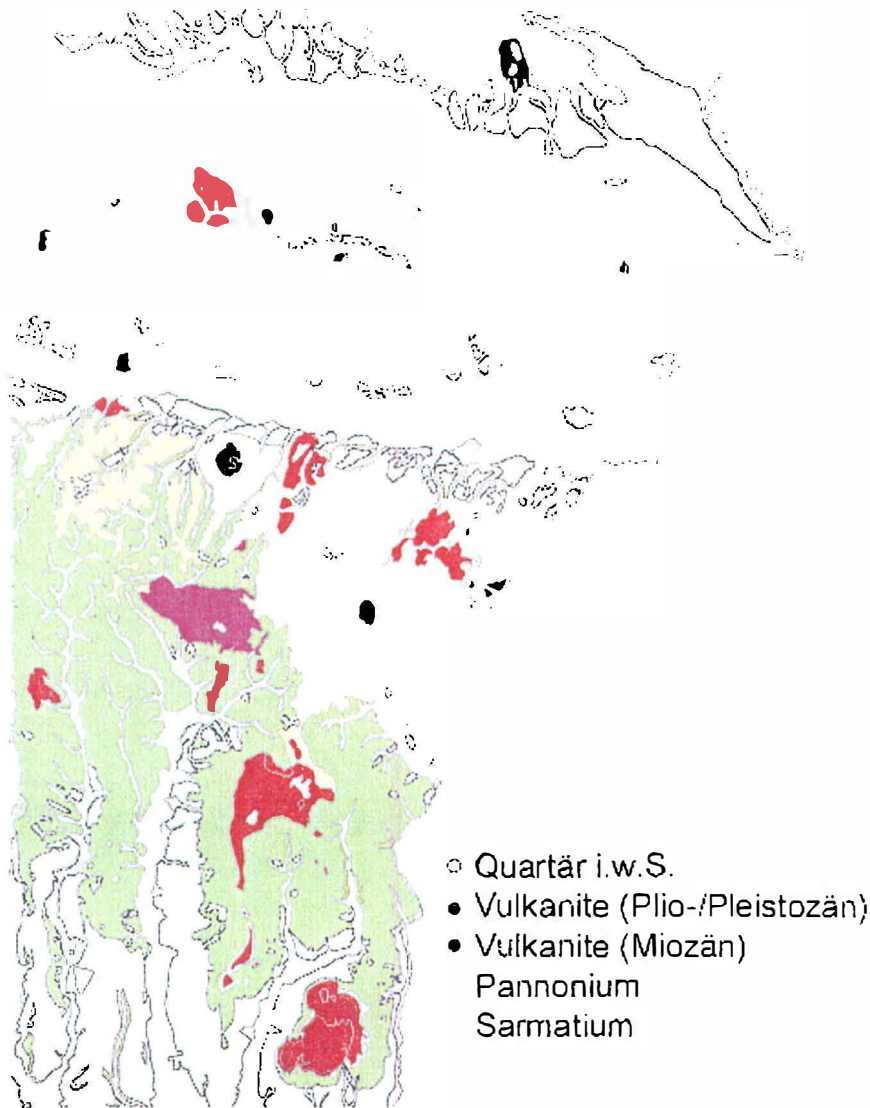
Plio-/Pleistozän: Güssing, Tobaj, Limbach, Jennersdorf, Neuhaus, Unterneuberg bei St. Michael?, Punitz

Mittelburgenland

Miozän: Oberpullendorf, Pauliberg, Stoob, Aschau?

### **Geographische und geologische Position der plio/pleistozänen Vulkanite des Oststeirischen Beckens**

Der junge (plio-/pleistozäne) Vulkanismus ist basaltischer Zusammensetzung und hat sowohl effusiven als auch explosiven Charakter. Die effusiven Vorkommen von Klöch und Hochstraden werden als oberflächliche Lavadecken gedeutet (WINKLER 1913), die Lavamasse des Steinberges bei Feldbach hingegen zum Teil als Intrusion aufgefaßt (MURBAN 1939). Bekannt ist ferner die kleine Basaltintrusion von Stein bei Fürstenfeld (ANDRAE 1855). Neben diesen effusiven Erscheinungsformen des Vulkanismus der Oststeiermark kam es auch immer zu reger explosiver Aktivität, die sich in den zahlreichen Tuffvorkommen dokumentiert. Derartige vulkanische Förderzentren treten häufig (in der Literatur werden immer wieder ca. 30 - 40 Tuffkörper genannt) in Form von Durchbruchs-Röhren (pipes) auf. Die Tufftrichter sitzen an dünnen Stielen (Abnahme des Durchmessers dieser Vulkanitkörper gegen die Tiefe zu), was durch reflexionsseismische Untersuchungen der RAG sowohl im Basalttuffgebiet von Altenmarkt bei Riegersburg, als auch am S-Ende des Basalttuffes von Stadt- und Landbergen bei Fürstenfeld nachgewiesen werden konnte (KOLLMANN, 1965).



**Abb. 2:** Übersichtskarte mit Vulkanitvorkommen der Oststeiermark. Datengrundlage GIS-STMK

Diese jungen Vulkanite haben die komplette Abfolge des Neogens durchschlagen und liegen heute zum überwiegenden Teil südlich der Raab, obertägig anstehend, eingebettet in und auf den Sedimenten des Pannonium (Feldbach, Pertlstein, Bereich südlich von Fehring), zum Teil auch in und auf Sedimenten des Sarmatium (Klöch, Hochstraden, Gnas). Aufgrund ihrer größeren Verwitterungs- und damit auch Erosionsbeständigkeit gegenüber den vorwiegend unverfestigten klastischen Sedimenten heben sich die vermutlich ehemals in einer Hohlform abgelagerten häufig verfestigten Vulkaniklastika zumeist morphologisch von ihrer Umgebung ab (z.B. Riegersburg, Kapfensteiner Kogel, Kindsbergkogel, Seindl; vgl. Abb. 3). WINKLER-HERMADEN (1957 b) spricht von einer mitteldazischen, vorbasaltischen Sedimentakkumulation in der südöstlichen Steiermark und nimmt einen Schuttmantel von *mehreren Zehnern von Metern* an. Die in den Tuffen auftretenden Gerölle und Schottersteine leitet er mit geringen Ausnahmen von diesen (älteren) „Silberberg-Schottern“ ab. Nach dem vulkanischen Ereignis, welchem von WINKLER-HERMADEN (1957 b) ein Zeitraum in der Größenordnung vieler Jahrzehntausende zugeordnet wird, nimmt er eine wahrscheinlich vollständige postvulkanische Verschüttung („höhere Silberbergschotterserie“) der Basalt- und Tuffberge an. Die völlige Unabhängigkeit des jungpliozänen Talnetzes von dem Auftreten der Vulkanbauten sowie die Durchschneidung zahlreicher Tuffgebiete (Altenmarkt bei Riegersburg, Schwengental, Neuhaus, Oberlimbach, Feldbach) durch Bäche führt Winkler-Hermaden als Bestätigung für eine vollkommene Überschüttung der Vulkanbauten durch höhere dazische

Aufschüttungen an. Diesen örtlich bis 100 m mächtigen, grobklastischen, fluviatilen Ablagerungen der oberen „Silberbergserie“ mußte demnach ein bedeutendes Gefälle zugrunde gelegen sein. Nach Beendigung des Senkungsvorganges, welcher die Aufschüttung des spätdazischen Schuttkegels verursachte, begann die Zerschneidung und damit die Herausbildung der heutigen Landschaftsform.

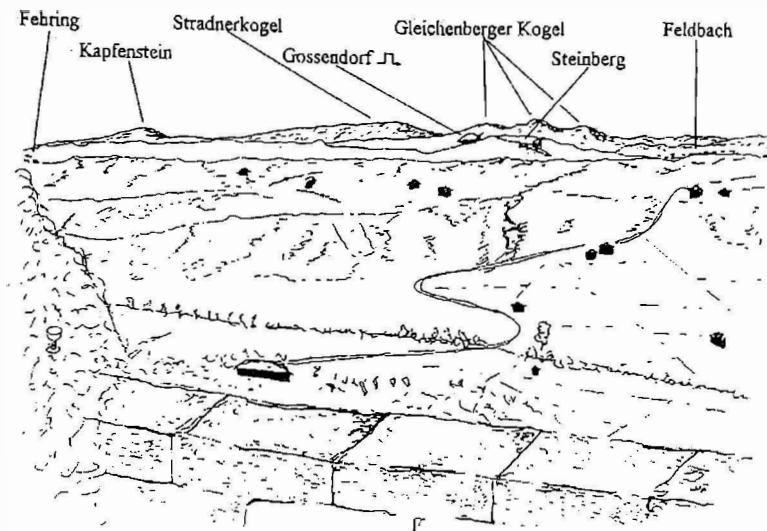


Abb. 3: Gezeichnete Panoramakarte mit Blick von der Riegersburg nach S

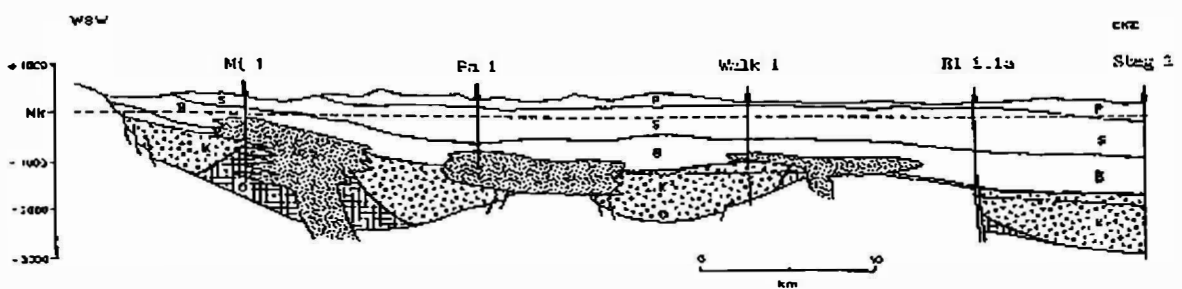


Abb. 4: Profilschnitt durch das Oststeirische Tertiärbecken (aus EBNER & SACHSENHOFER 1991)

### Alter der Vulkanite

Die Alter der neogenen Vulkanite werden sowohl nach absoluten als auch relativen Datierungen angegeben. Besonders problematisch erweist sich dabei die Einordnung der zahlreichen Tuffvorkommen der jüngeren vulkanischen Phase, da sie zumeist auf einer Schichtlücke aufliegen und die Hangendbedeckung, sofern es überhaupt eine gab, zumeist der Erosion zum Opfer gefallen ist. Eine mögliche Aussagekraft auf genauere zeitliche Einengung beinhalten die in den Tuffen eingebrachten sedimentären Komponenten und Schollen. Diese sind bislang aber noch nicht bearbeitet.

Die zeitliche Einstufung der steirischen Basalte und der zugehörigen Tuffe wird bereits seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts diskutiert. Einer interessanten Auseinandersetzung zwischen HOERNES (1880) und HOFMANN (1878) über das Alter der basaltischen Gesteine von Gleichenberg liegen vor allem genetische Überlegungen zugrunde. Der von STOLICZKA (1863) und STUR (1871) geäußerten Meinung - die Einschlüsse von Quarzgeschieben in den Basaltuffen seien eingeschwemmte Massen und demnach zeitgleich entstanden - hält Hofmann (1878) entgegen, daß es wahrscheinlicher erscheint, die Quarzgeschiebe in den



**Abb. 5:** Rekonstruktionsversuch der Landschaft des steirischen Beckens in der basaltischen Eruptionszeit des mittleren Daz; mit Deckenerguß, Stratovulkan, Tuffnecks sowie Maareruptionen (mit Maarseen) aus WINKLER-HERMADEN 1957 b

Tuffablagerungen befinden sich auf sekundärer Lagerstätte. Vulkanische Explosionen führt er als Ursache dafür an und folgert daraus, daß die Quarzschotter-Ablagerungen von höherem Alter sind als die Tuffe. Dagegen wiederum sprechen nach Hoernes zwei gewichtige Argumente. Neben der Schichtung der Quarzgeschiebe führt er auch das Fehlen jeglicher Spur einer Schlackenrinde bei den Schottern an, was aber sehr wohl bei den Olivinknollen (Mantelxenolithe) und anderen gneisähnlichen Gesteinen aus der Tiefe stammend beobachtbar ist. Schließlich äußert Hoernes die Meinung, daß ein Teil der Basalteruptionen zur Zeit der Ablagerungen der „Belvedere-Schotter“ erfolgt sein muß, aber durchaus auch andere Alter in Betracht kommen, allein schon begründet durch den verschiedenartigen petrographischen Charakter der einzelnen Basalte.

Erst Winkler-Hermaden erkennt diese Vulkanite als Tuffrichter, die in eine ehemals höher gelegene Landoberfläche eingesenkt waren. Die in den Untergrund eingesenkten Krater, die schon von WINKLER-HERMADEN (1933) als Maare bezeichnet werden, zeigen an einigen Lokalitäten (Altenmarkt, Burgfeld, Beistein, Gleichenberg, Pertlstein, Gnas) Hinweise auf Seenstadien an (Abb. 5).

Ergänzend zu diesen altersmäßigen Einstufungsüberlegungen können noch radiometrische Datierungen von vergleichbaren Basalten angeführt werden. BALOGH et al. (1989, 1994) unternahmen diesbezügliche Untersuchungen im Rahmen eines in österreichisch-ungarischer Zusammenarbeit durchgeführten Projektes (ÜLG19 "Aufsuchung von Alginat in Österreich") an einigen Basalten und Basalttuffen (wie z.B. Klöch, Wilhelmsdorf, Mühldorf, Unterweißenbach) durch. Aufgrund der ermittelten K/Ar-Alter können die vulkanischen Gesteine der Oststeiermark und des südlichen Burgenlandes drei klar unterscheidbaren Ergußphasen zugeordnet werden, wobei für die jüngste magmatische Phase Alter zwischen  $1,7 \pm 0,7$  und  $3,7 \pm 0,5$  Mio.a. errechnet wurden. Auf Basis dieser radiometrischen Altersbestimmungen ist der junge effusive bzw. zu einem großen Teil explosive Vulkanismus im Grenzbereich des oberen Pliozän (Romanium) zum Pleistozän anzusiedeln.

## Exkursionsbeschreibung

### Vulkangebiet Altenmarkt - Riegersburg



**Abb. 6:** Übersichtskarte mit Exkursionspunkten (Kartengrundlage: GIS STMK)

**Stopp 1 (Aussichtspunkt):** ÖK 192: RW: 719750; HW: 2071200 (Abb. 6)

*Beschreibung:* Burgfelsen der Riegersburg: Platz des Grenzlandehrenmals, ehemaliger Standort der Burg Lichtenegg

*Inhalt:* Geländeeinweisung mit Einführung in die Geologie und paläogeographische Entwicklung des Steirischen Beckens

**Stopp 2 (Aufschluß 179):** ÖK 192: RW: 717960; HW: 207080 (Abb. 6)

*Beschreibung:* Graben NW Kote 421 (Altenmarkter Berg)

*Inhalt:* Direkter Kontakt Vulkaniklastika/Sediment (Abb. 7): undeutlich geschichtete feinkörnige Tuffe mit einem hohen Gehalt an epiklastischen Komponenten liegen diskordant an annähernd horizontal gelagerten Sanden. Die Grenzfläche hat ein Einfallen von durchschnittlich  $45^\circ$  in Richtung Nord, wobei die verwitterungsresistenten Vulkaniklastika aus dem Untergrund herausragen.



**Abb. 7:** Aufschluß 179 (Kontaktbereich Vulkaniklastika - Pannonium)

**Stopp 3 (Aufschluß 178):** ÖK 192: RW: 717900; HW: 207400 (Abb. 6)

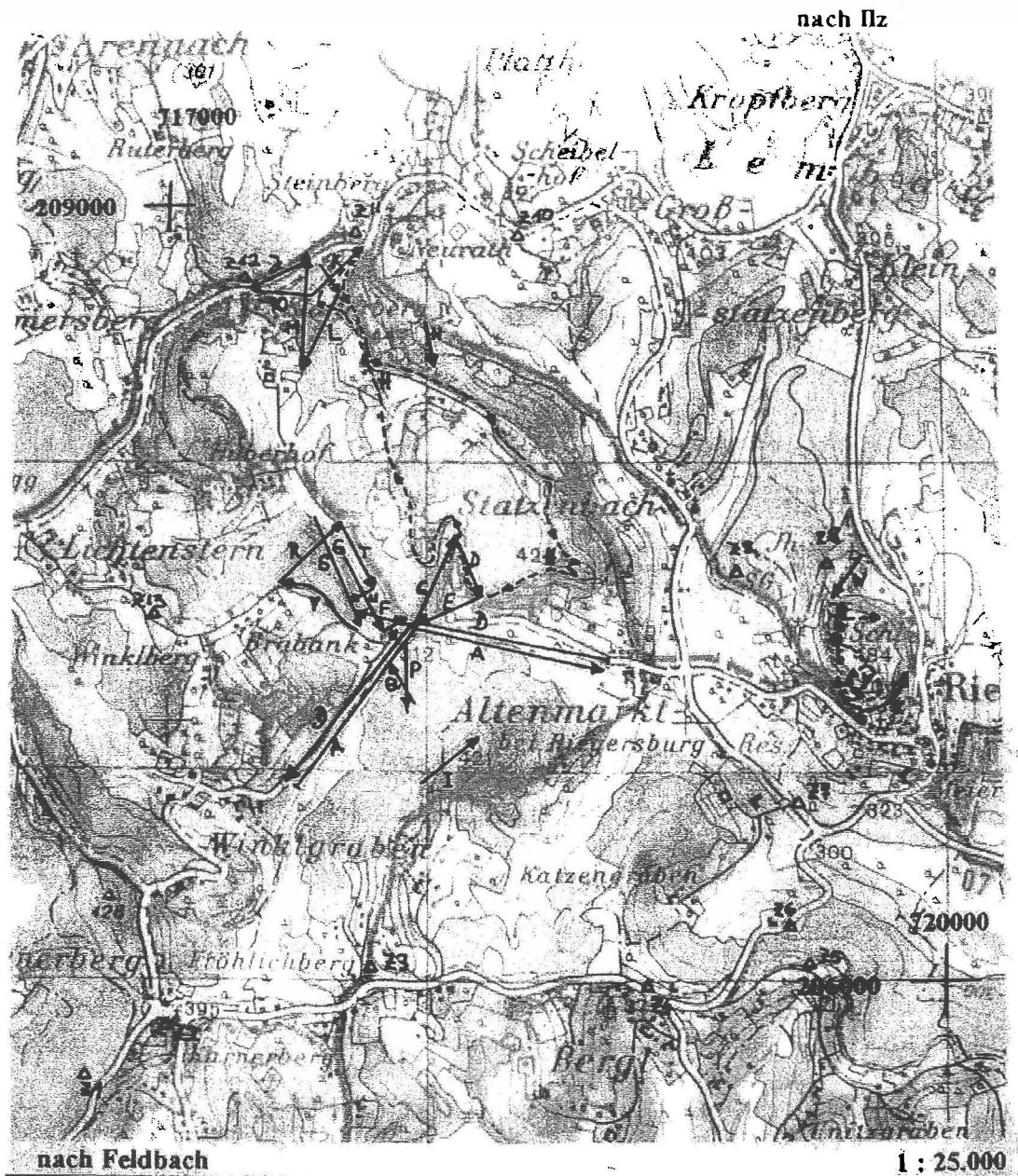
*Beschreibung:* im Talboden, knapp nördlich Kote 312 (Brücke)

*Inhalte:* ein anstehender Basanit (Abb. 8) dokumentiert ein, wahrscheinlich räumlich und zeitlich kurz begrenztes, effusives Ereigniss im Vulkangebiet von Altenmarkt. Im Talboden wurden mehrere geomagnetische Messungen durchgeführt (FRITZ 1996a,b) (Abb. 9, 10).

Der anstehende Basanit hat an der Oberfläche gelegentlich gut ausgebildete Wülste, die an Seillavastrukturen erinnern. Die schlierige Anordnung von Bläschen zeigt die Fließbewegung eines in Erstarrung befindlichen Magmas an, wobei die Anreicherung von Bläschen im Randbereich für eine Entgasung noch während des Fließens spricht. Im Dünnschliff sind



**Abb. 8:** Aufschluß 178 im Bereich Talknoten mit dichtem bis stark blasig ausgebildetem Basanit.



**Abb. 9:** Übersichtskarte mit eingezeichneten Meßpunkten und Profilinien der geomagnetischen Messungen in Altenmarkt/Riegersburg (ÖK50, Blatt 192/166 BEV)

kleine Einsprenglinge von Pyroxen (wahrscheinlich Titanaugite) erkennbar, die teilweise auch eingeregelt sind. Fein verteilt in diesen Pyroxenen, aber auch in der überwiegend glasischen Matrix sind Vererzungen festzustellen. Dabei handelt es sich wahrscheinlich um Magnetite bzw. Titanomagnetite (HERMANN 1974, ZEDNICEK 1984), die auch die Träger der Magnetisierung sind (FRITZ 1992). In den Blasen Hohlräumen kam es sekundär zur Bildung von Zeolithen, wie zum Beispiel Phillipsit, Chabasit beziehungsweise Hyalit. Im Randbereich sind die Bläschen zum Teil so zahlreich, daß das Gestein einen schlackigen Charakter erhält. Die durch Zeolithe ausgekleideten Hohlräume haben Durchmesser im mm-Bereich. Phillipsite sind nicht nur in den Blasen Hohlräumen zu finden, sondern sind auch in größerer Zahl entlang von Trennfugen und schmalen verzweigten Klufflächen anzutreffen. Als Voraussetzung für die Bildung dieser Zeolithe sind hydrothermale Wässer mit Temperaturen von zumindest  $>50^{\circ}\text{C}$  anzunehmen. Die Bildung der Zeolithe ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Umwandlung von basischen Gläsern (z. B. Sideromelan) zurückzuführen. Diese basischen Gläser bilden auch den Hauptanteil des Gesteins, was auch deutlich im Dünnschliff

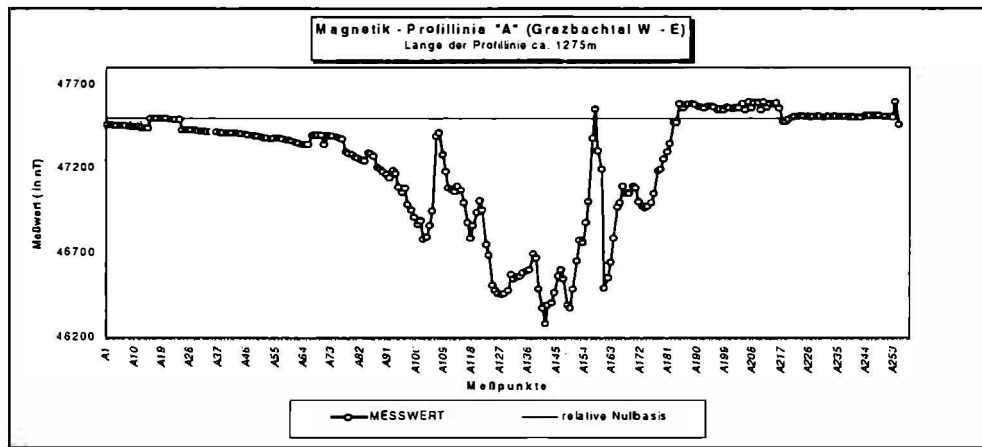


Abb. 10: Profillinie "A" im Talboden des Grazbachtals.

auszumachen ist. Die kleinen Bläschen haben zumeist einen rundlichen Querschnitt, erst größere Blasen Hohlräume sind gestreckt und somit eventuell als Fließrichtungsindikatoren zu interpretieren. Aufgrund der Kleinheit der Bläschen kann auch auf eine rasche Abkühlung der Lava geschlossen werden. An einem heruntergebohrten Großstück (d.h. an der frischen Bruchfläche desselben) können geringmächtige (einige mm - 1 cm) plattige Absonderungen festgestellt werden. Möglicherweise handelt es sich dabei um einzelne dünne Fließeinheiten, die in rascher Aufeinanderfolge zur Ablagerung und somit zur Abkühlung kamen. Im unmittelbaren Nahbereich findet man extrem blasenreiche Basanite.

**Stopp 4 (Aufschluß 135):** ÖK 192: RW: 718200; HW: 207420 (Abb. 6)

*Beschreibung:* im Talboden, ca. 200m östlich Wegkreuz, Haus Marberl

*Inhalte:* Asche-Lapillituffe, Diskordanz (Abb. 11)

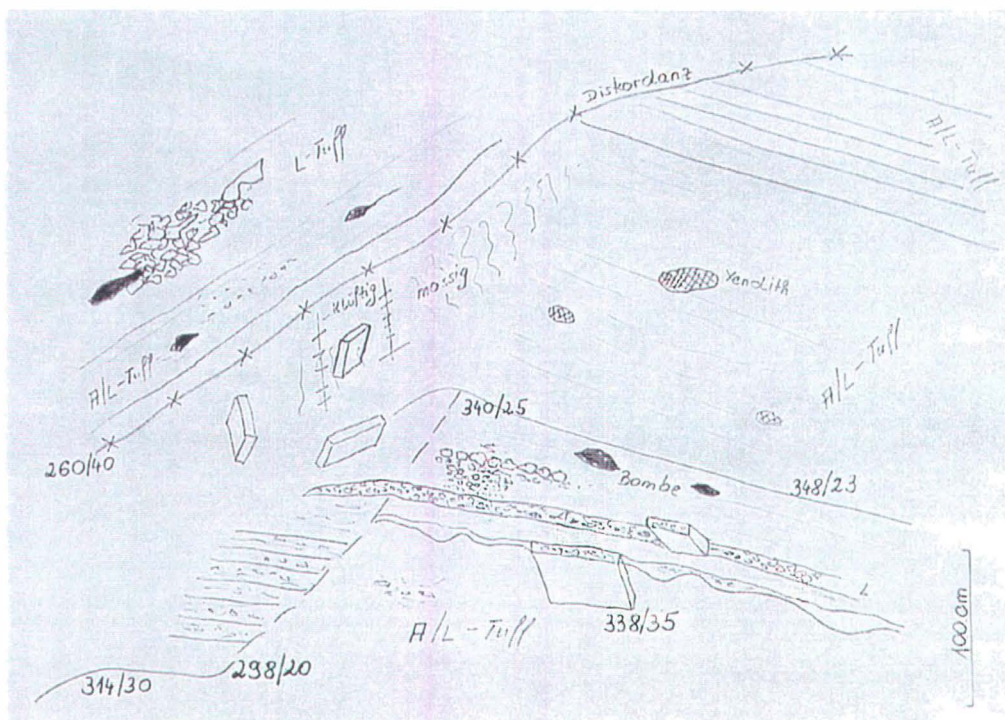


Abb. 11: Aufschlußskizze aus dem Bereich der Diskordanz (A135)

Die gesamte aufgeschlossene Abfolge ist als ein Ereignis aufzufassen, wobei die Bildungsbedingungen der Gesteine annähernd gleich gewesen sein dürften. Es könnte sich somit um die vulkanischen Produkte eines vom Oberflächenwasserangebot gesteuerten phreatomagmatischen Eruptionsmechanismus handeln. Dabei sind die stark fragmentierten, magmatischen Komponenten und ein feinkörniges, in seine Einzelkomponenten zerlegtes Nebengestein im Nahbereich des Eruptionszentrums in Form von *surge flows* zur Ablagerung gekommen. Die Abfolge wird als eine Entwicklung in der Früh-, Zentralphase des örtlichen Vulkanismus interpretiert, die von nachfolgenden explosiven Ereignissen zuerst durchbrochen und in weiterer Folge überlagert wurde.

**Stopp 5 (Aufschluß 131):** ÖK 192: RW: 718140; HW: 207540 (Abb. 6)

*Beschreibung:* aufgelassener Steinbruch im Seitental ca. 300 m nördlich des Wegkreuzes

*Inhalte:* geschichtete Asche-Lapillituffe (Abb. 12), Aschetuffe, bomb-sag structures

An dieser Lokalität befindet sich die am besten aufgeschlossene Tuffabfolge des Vulkangebietes von Altenmarkt. Gut geschichtete Asche/Lapillituffe sind beiderseits des schmalen N-S verlaufenden Tales aufgeschlossen. Der westlich gelegene Aufschluß (A 132) wurde nur kleinräumig abgebaut und ist mittlerweile durch eine Rutschung großteils verschüttet. An der östlichen Grabenseite hingegen ist eine Wand mit 11 m Profilhöhe und bei 225 m lateraler Ausdehnung, mit variabler Höhe, aufgeschlossen. Dabei sind lateral verfolgbare, geschichtete Asche/Lapillituffe in verschiedener Ausbildung sichtbar. Grundsätzlich können feinkörnige, schmal geschichtete, Asche/Lapillituffe mit Aschematrix (tlw. zeolithisch und/oder kalzitisch) von korngestützten grobkörnigeren Lapillituffen unterschieden werden. Die beiden stärker herausgewitterten Schichten bestehen aus feinkörnigen Aschelagen, die reich an verschieden geformten, in ihrer Größe unterschiedlichen und auch in ihrer Zusammensetzung variablen Bomben und Blöcken sind.



**Abb. 12:** Steinbruchwand an der Ostseite des Seitentales (A131) mit lateral auf weite Strecken konstant bleibenden Schichten

Die gesamte Abfolge zeigt im Nordteil des Aufschlusses ein generelles Einfallen mit durchschnittlich  $12^\circ$  nach NE. Diese Lagerung verändert sich im Südteil des Berges, wo die großteils ausgedünnten Schichten mit durchschnittlich  $30^\circ$  nach NW einfallen und auch in höherer topographischer Position liegen. Dahingegen haben die geschichteten Asche/Lapillituffe des Aufschlusses 132 im Talboden ein sehr flaches Einfallen mit  $5^\circ$  nach NW. Es zeigt sich somit ein stark akzentuiertes Relief dieser geschichteten Abfolge mit großer flächiger Verbreitung.

Eine ca. 80 cm mächtige, feinkörnige, graue Ascheabfolge verwittert leicht und beinhaltet eine hohe Zahl an vulkanischen Bomben mit Durchmesser bis zu 30 cm. Die *bomb sag structures* weisen auf einen plastisch verformbaren Untergrund zur Bildungszeit hin und zeigen einen im SW gelegenen Herkunftsbereich der vulkanischen Bomben an.

Über dem Aufschluß 135 (Basisabfolge bei Haus Marberl) existiert eine künstlich angelegte Verebnung über der die zuvor beschriebenen Asche/Lapillituffe in höherer geographischer und geologischer Position liegen. Zum Hangenden hin nimmt der Anteil der feinkörnigen Lagen zu und es sind zahlreiche reine Aschelagen ausgebildet. Die hangendste Abfolge, die diese vorwiegend gut geschichteten Asche/Lapillituffe überlagert, wird aus extrem schlecht sortierten Tuffiten aufgebaut, die einen sehr hohen Anteil an Epiklasten aufweisen. Es konnten große Schollen von aufgearbeiteten Tuffen im Verband mit reinen Kies- und Sandanteilen kartiert werden. Die internen Strukturen mit vertikalen Schichtungen und Verfaltungen weisen auf eine starke Durchbewegung während des Transportes und/oder der Ablagerung hin. Bislang wurde diese Abfolge als eine Hauptphase vulkanischer Aktivität interpretiert. Der Gesamtcharakter dieser Gesteinsabfolge spricht aber eher für große (syn-) postvulkanische Ablagerungen, die in Form von pyroklastischen Strömen und Laharen in die bestehende Hohlform eingeglitten sind und die Basis der nachfolgenden Maarseeentwicklung bilden. Diese chaotisch gelagerten Tuffite gehen lokal in gut geschichtete Sedimente über, die vorwiegend aus resedimentierten Tertiärsedimenten der prävulkanischen Umrahmung stammen dürften. Diese Entwicklung setzt sich bis zur Kote 424 fort und kann lokal entlang eines Forstweges eingesehen werden. Südlich dieses Forstweges können die zuvor beschriebenen, gut geschichteten Asche/Lapillituffe an einigen Stellen gefunden werden. Sie zeichnen hier das durch den Vulkanismus angelegte Relief einer zu den Rändern hin ausgebildeten Trichterstruktur in abgeschwächter Form nach. Abgeschwächt deshalb, weil zu diesem Zeitpunkt die primär geschaffene Hohlform durch vulkanische Auswurfprodukte und Sedimentation aus dem Randbereich schon weitestgehend wiederverfüllt war.

**Stopp 6 (Aufschluß 248):** ÖK 192: RW: 718250; HW: 208100 (Abb. 6)

*Beschreibung:* auf der Anhöhe (SH 410 m); halber Weg zwischen Kote 424 und Kote 447

*Inhalt:* Maarseesedimente vom „Typ Burgfeld“; Sedimentationsstadium

Im Raum Klafterberg (Kote 447) sind an kleinen Aufschlüssen (Weganrissen, Gräben und kleinen ehemaligen Steinentnahmestellen) neben tuffitischem Material auch immer wieder geringmächtige Ablagerungen von feinstklastischen Sedimenten aufgeschlossen. Diese hangende Abfolge mit tuffitischen, z.T. kiesigen Sandsteinen und zwischengeschalteten Tonen werden von WINKLER-HERMADEN (1939, 1957) erkannt und als Ablagerungen in einem zeitweilig bestehenden Kratersee interpretiert. Die gesamte hangende Abfolge ordnet er einer Hauptausbruchphase zu, in der zunächst gewaltige sedimentäre Schollen und in weiterer Folge sehr schotterreiche Tuffe gefördert wurden (WINKLER - HERMADEN 1939). Vergleichbare Kraterseeablagerungen mit Seetonen beschreibt Winkler-Hermaden auch von anderen plio-/ pleistozänen Vulkanbauten der Oststeiermark (Burgfeld - südlich von Fehring, Albrechtshöhe bei Bad Gleichenberg sowie von Gnas und Pertlstein), wobei dem Vorkommen von Burgfeld gegenwärtig große wirtschaftliche Bedeutung zukommt.

Im Zuge der Kartierung konnte im Arbeitsgebiet auch eine Wechselfolge von Tuffen, tuffitischen Sandsteinen und Tuffiten festgestellt werden, denen oftmals geringmächtige Silt-, Tonlagen zwischengeschaltet sind (Abb. 13). Die Mächtigkeiten dieser feinstklastischen Lagen schwanken zwischen einigen Millimetern bis zu 30 cm. Geringmächtige Ausbisse in verschiedenen Höhenlagen (zwischen SH 375 und SH 425) und +/- umlaufendes Streichen im gesamten nordöstlichen vulkanoklastisch dominierten Areal von Altenmarkt ließen auf einen Zentralbereich schließen, in dem die randlich vorkommenden Tonlagen an Mächtigkeit zunehmen könnten. Diese Vorstellung basiert auf den Erkenntnissen einer detaillierten Kartierung verbunden mit der Einbindung dieser Ergebnisse in ein schematisiertes Maarmodell nach Lorenz.

Die Firma Leca. Ges.m.b.H. führt seit einigen Jahren Prospektionsbohrungen im Oststeirischen Tertiärbecken durch um ein wirtschaftlich interessantes Tonvorkommen zu finden. Die hohe Qualität des Materials von Altenmarkt sowie gemeinsame Geländebegehungen führten zur Durchführung einer Bohrserie im Arbeitsgebiet. Das als Hoffungsgebiet ausgewiesene Areal wurde als zentrale Abfolge einer mehrphasigen Maarseeentwicklung interpretiert, wobei im festgelegten Bereich mächtigere, feinstklastische Ablagerungen angenommen werden.

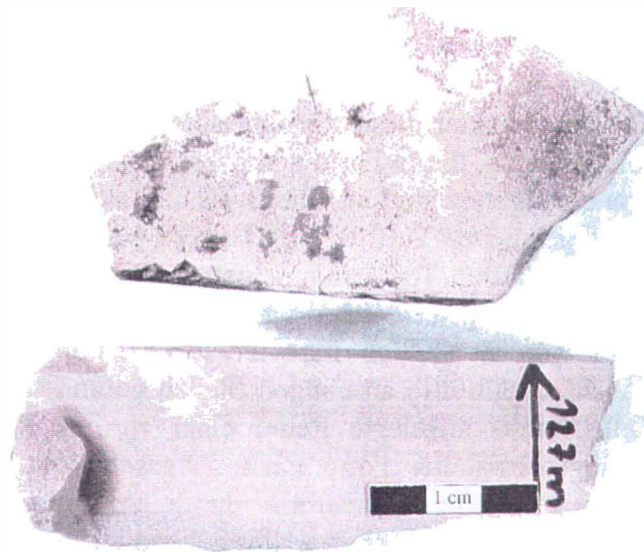


Abb. 13: Geschichteter, toniger Silt vom Typ *Seeton* (Klafterberg)

### **Blähfähige Tone**

Da im Laufe der letzten Jahre mehrmals auch der großräumige Abbau der Firma Leca GesmbH in Burgfeld, südlich von Fehring, zu Studien- und Vergleichszwecken besucht wurde, konnte festgestellt werden, daß die Ton-Siltzwischenlagen von Altenmarkt rein makroskopisch den in Burgfeld abgebauten Tonen entsprechen. Im Jahre 1991 wurde der Firma Leca Ges.m.b.H Probenmaterial aus diesen feinstklastischen Ablagerungen von Altenmarkt für entsprechende Blähwertmessungen überbracht (FRITZ 1992).

Die südlich von Fehring zum Teil in mächtigen Lagen vorkommenden Tone wurden von WIEDEN & SCHMID (1956) erstmals genauer untersucht. Optische, elektronenoptische und röntgenographische Untersuchungen sowie Analysen zur chemischen Zusammensetzung zeigten, daß es sich bei den weitgehend zersetzten feinstklastischen Ablagerungen um ein Mineral aus der Illitgruppe handelt. Die Autoren halten es für wahrscheinlich, daß Feldspäte, eventuell auch vulkanische Gläser, einen beträchtlichen Anteil des Ausgangsmaterials

gebildet haben und schließen auf ein vulkanisches Lockermaterial als Ausgangssubstanz, dem sich ein umgeschwemmtes Sediment beigemischt hat. In Burgfeld wird das Material seit den 60-er Jahren aufgrund seiner guten Bläheigenschaften abgebaut und findet heute als Rohstoff in einer reichhaltigen Produktpalette der Firma Leca GesmbH Verwendung.

## Literatur

- AGIORGITIS, G., 1968: Zur Geochemie einiger seltener Elemente in basaltischen Gesteinen. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 12, 204-229, Wien.
- ANDRAE, K.J., 1855: Bericht über die Ergebnisse geognostischer Forschungen im Gebiete der 14., 18. und 19. Section der General- quartiersmeisterstabkarte von Steiermark und Illyrien (Sommer 1954). - *Jb. k. k. Geol. R.-A.*, 6.Jg., II. Vierteljahr, 40S.
- ANKER, M.J., 1835: Kurze Darstellung der mineralogisch-geognostischen Gebirgs-Verhältnisse der Steiermark. - 72-77, Grätz.
- BALOGH, K., 1989: K-Ar-bestimmtes Alter der tertiären Vulkanite von Oststeiermark und Burgenland. - *Unveröff. Ber.*, 31 S.
- BALOGH, K., EBNER, F. & RAVASZ, Cs. Mit Beiträgen von HERRMANN, P., LOBITZER, H. & SOLTI, G., 1994: K/Ar-Alter tertiärer Vulkanite der südöstlichen Steiermark und des südlichen Burgenlands. - *Jubiläumsschr. 20 Jahre Geol. Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, Teil 2*, 55-72, Wien.
- BUCH, L.v., 1821: Ueber einige Berge der Trapp-Formation bey Grätz. - *Steyermärkische Zeitschrift*, III.H., 81-89, Grätz.
- CLAR, C., 1878: Mittheilungen aus Gleichenberg. - *Verh. d. k. k. geol. R. A.*, Nr.6., Wien.
- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R.F., 1991: Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. - *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum*, 49, 96 S., Graz.
- EBNER, F., ERHART-SCHIPPEK, F. & WALACH, G., 1985: Erdgasspeicher Oststeiermark. - *Unveröff. Bericht*, Graz.
- FANINGER, E., 1970: Pohorski tonalit in njegovi diferencijati. - *Geologija*, 13, 35-104, Ljubljana.
- FLÜGEL, H.W. & HERITSCH, H., 1968: Das Steirische Tertiärbecken. - *Sammlung geol. Führer*, 47, 196 S., Berlin.
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F.R., 1984: Steiermark. - *Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen*. - *Geol. B. A.* 126 S., 26 Abb., 1 Karte, Wien.
- FRIDAU, v., 1849: Skizze des Trachytvorkommens in der Gegend von Gleichenberg in Steiermark. - *Berichte über die Mittheilungen v. Freunden der Naturwiss.in Wien*, v. Haidinger, V, S.238, Wien.
- FRITZ, I., 1992: Geomagnetische Untersuchungen an Vulkaniten aus dem Bereich Altenmarkt bei Riegersburg (Oststeirisches Neogenbecken). - *Mitt. naturwiss. Ver. Stmk.*, 122, 29-37, Graz.
- FRITZ, I., 1994: Gesteinsvariationen in einem Vulkangebiet der Oststeiermark am Beispiel Altenmarkt bei Riegersburg. - *Matrixx, Mineralogische Nachrichten aus Österreich*, 3, 73-81, Graz.
- FRITZ, I., 1996a: Notes on the Plio-/Pleistocene volcanism of the Styrian Basin.- *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.Österr.*, 41, 87-100, Wien.
- FRITZ, I., 1996b: Die Entwicklung der jungpliozänen Vulkaniklastika im Raum Altenmarkt-Riegersburg und ihre Beziehung zu den umgebenden Sedimenten.- *Unveröff. Dissertation*, Graz.
- HARTMANN, C., 1841: Die Schöpfungswunder der Unterwelt. Interessante Schilderungen der berühmtesten Höhlen, Quellen, Erdbeben, Vulkane, Bergwerke, Versteinerungen und andere Merkwürdigkeiten für Jung und Alt. 3. Abschnitt: Von den Erdbeben und Vulkanen. - 1. Bd., Stuttgart.
- HARTMANN, C., 1841: Die Schöpfungswunder der Unterwelt. Interessante Schilderungen der Berühmtesten Höhlen, Quellen, Erdbeben, Vulkane, Bergwerke, Versteinerungen und anderer Merkwürdigkeiten für Jung und Alt. - 2. Bd., 637 S., Stuttgart.
- HAUER, Ritter v., F., 1873: Geologische Uebersichtskarte der österreichischen Monarchie. - *k. k. geol. R. A.*, Bl. Nr. VI. Oestliche Alpenländer, Wien.
- HAUSER, A., 1954: Der steirische Vulkanbogen als magmatische Provinz. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, Bd. 4, H. 1-4, 301-311, Wien.

- HERITSCH, F., 1915: Beiträge zur geologischen Kenntnis der Steiermark. VI. Beobachtungen am Tuffkegel von Kapfenstein bei Fehring. - Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., 51, Jg. 1914, 85-91, Graz.
- HERITSCH, H., 1963: Exkursion in das oststeirische Vulkangebiet. - Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 93, 206-227, Graz.
- HERITSCH, H., 1965: Das oststeirische Vulkangebiet. - Fortschr. Min., 42, 165-169, Stuttgart.
- HERITSCH, H., 1967: Über die Magmenentfaltung des steirischen Vulkanbogens. - Contr. Min. Petr., 15, 330-344, Heidelberg.
- HERITSCH, H., 1969: Ni-Gehalte von Olivin aus Olivinbomben und basaltischen Gesteinen des oststeirischen Vulkanbogens. - Sitz. Math.-Naturw. Kl. 1969, 11, 209-211, Wien.
- HERITSCH, H., 1975: Über mögliche Beziehungen zwischen den Haupttypen des pliozänen, basaltischen Vulkanismus der Oststeiermark. - Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., 1975, 147-152, Wien.
- HERITSCH, H., 1976: Ein Vergleich glasiger Grundmassen und selbständiger Gläser des pliozänen Vulkanismus der Oststeiermark. - Anz. math.-naturw. Kl. Österr. Akad. Wiss., Jg. 1976, Nr. 10, 163-165, Wien.
- HERITSCH, H. & HÜLLER, H.J., 1973: Über die Entstehung von Basaltgläsern in basaltischen Gesteinen des Steinberges bei Feldbach (Steiermark, Österreich). - Tscherm. Min. Petr. Mitt., 20, 73-80, Wien.
- HERITSCH, H. & ROHANI, H., 1973: Untersuchungen über Olivin und Klinopyroxen sowie über Auswüchse des basaltischen Vulkanismus der Oststeiermark. - Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 103, 7-23, Graz.
- HERMANN, U., 1973: Sekundäre Veränderungen an Lapilli aus Tuffiten des Oststeirischen Vulkangebietes. - Anzeiger d. math.-naturw. Klasse d. Österr. Akad. d. Wissens., 110. Jg., Nr. 1-13, 96-102, Wien.
- HOERNES, R., 1880: Das geologische Alter der Eruptivgesteine von Gleichenberg. - Verh. k. k. geol. R. A., Nr. 4, Wien.
- HOFFMANN, K., 1877: Aufnahmebericht der königl. ungar. geol. Reichsanstalt. - Verh. k. k. geol. R.-A., Wien.
- HOFFMANN, K., 1878: Die Basaltgesteine des südlichen Bankony. - Mitt. Jb. k. ung. geol. Anst., III. Bd., 233 u.f., Budapest.
- HÖLLER, H., 1965: Über Zeolithbildung in zersetzten vulkanischen Gesteinen und Tuffen der Steiermark. - Anz. Österr. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl., 320-323, Wien.
- HÖLLER, H., 1982: Blähtonvorkommen von Gnas. - Steir. Beitr. Rohstoff. Energief., 2, 14-16, Graz.
- HOLZER, H.-L. (Hrsgb.) 1994: Exkursionsführer Steirisches Tertiärbecken. - Wandertagung d. Österr. Geol. Ges., 80 S., Graz.
- HUSSAK, E., 1880: Ueber Eruptivgesteine von Gleichenberg. - Verh. k. k. geol. R. A., 160-162, Wien.
- KOLLMANN, K., 1965: Jungtertiär im Steirischen Becken. - Mitt. Geol. Ges., 57, 479-632, Wien.
- KOLMER, H., 1980: Das Rb/Sr-Alter oststeirischer Vulkanite. - Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., 110, 23-26.
- KURAT, G., KRACHER, A., & SCHARBERT, H.G., 1976: Petrologie des Oberen Erdmantels unterhalb von Kapfenstein, Steiermark. - Fortschr. Miner., 54, Beih. I, 53-54, Stuttgart.
- MORLOT, v., 1847: Resultat der Analyse des Trachytes von Gleichenberg. - Berichte über die Mittheilungen v. Freunden der Naturwiss. in Wien, v. Haidinger, II. Bd., S. 236, Wien.
- MURBAN, K., 1939: Die vulkanischen Durchbrüche in der Umgebung von Feldbach. - Mitt. Abt. Bergb., Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, 3, Graz.
- NIEDERL, R. & SUETTE, G., 1986: Aufnahme und Bewertung von Dekor- und Nutzgesteinen der Steiermark V. Tertiäre Vulkanite. - 102 S., Unveröff. Ber., Graz.
- PARTSCH, P., 1836: Geognostische Skizze der Umgebung der Gleichenberger Sauerbrunnen. - In: Heilquellen des Thales Gleichenberg in der Steiermark, v.L. Langer.
- PÖSCHL, I., 1991: 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, H. 4, 809-843, Wien.
- PÖSCHL, I., 1991: A Model for the Depositional Evolution of the Volcanoclastic Succession of a Pliocene Maar Volcano in the Styrian Basin; Austria. - Diplomarbeit, 132 S., Graz.
- POULTIDIS, CH., 1981: Petrologie und Geochemie basaltischer Gesteine des Steirischen Vulkanbogens in der Steiermark und im Burgenland. - 146 S., Unveröff. Diss. Univ. Wien.

- SCHADLER, J., 1913: XVI. Zur Kenntnis der Einschlüsse in den südsteirischen Basalttuffen und ihrer Mineralien. - *Tscherm. min. u. petr. Mitt.*, XXXII, VI. H., 485-511, Wien.
- SCHOKLITSCH, K., 1932: Beiträge zur Kenntnis der oststeirischen Basalte 1. Teil. - *N. JB. Min.*, 63, Abt. A, 319-370.
- SCHOKLITSCH, K., 1933: Beiträge zur Kenntnis der oststeirischen Basalte 2. Teil. - *Cbl. Mineral. Geol. Paläont. Abt. A*, 1933, 348-159, Stuttgart.
- SCHOKLITSCH, K., 1934: Pyrometamorphose an Einschlüssen in Eruptiven am Alpenstrand. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 46, 127-152, Wien.
- SCHOKLITSCH, K., 1935: Gläser und Nephelinakkumulationen vom Steinberg bei Feldbach. - *Cbl. Mineral. Geol. Paläont. Abt. A*, 368-382, Stuttgart.
- SIGMUND, A., 1895: Die Basalte der Steiermark. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, XV, 361-384, Wien.
- SIGMUND, A., 1897: Die Basalte der Steiermark. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, XVII, H. 6, 526-543, Wien.
- SIGMUND, A., 1899: XIV. Die Basalte der Steiermark. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, XVIII, H. 5, 377-407, Wien.
- SIGMUND, A., 1902: Die Eruptivgesteine bei Gleichenberg. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, XXI, 261-306, Wien.
- SIGMUND, A., 1904: Ein neues Vorkommen von Basalttuff in der Oststeiermark. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, XXIII, 401-405, Wien.
- STEININGER, F. F. & PILLER, W. E. (Hrsg.), 1999: Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur. - *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg* 209, 1-19, Frankfurt a. M.
- STEININGER, F. & WESSELY, G., 2000: From the Tethyan Ocean to the Paratethys Sea: Oligocene to Neogene Stratigraphy, Paleogeography and Paleobiogeography of the circum-Mediterranean region and the Oligocene to Neogene Basin evolution in Austria. - *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 92, 95-116, Wien.
- STOLICZKA, F., 1863: I. Bericht über die im Sommer 1861 durchgeführte Uebersichtsaufnahme des südwestlichsten Theiles von Ungarn. - *Jahrb. d. k. k. Geol. R.-A.*, 13, Wien.
- STUR, D., 1871: Die Geologie der Steiermark - Die Tertiär-Formation. - Graz.
- TAUCHER, J. et al., 1989: Klöch. Ein südoststeirisches Basaltvorkommen und seine Minerale. - Eigenverlag, 160 S., Graz.
- TIETZE, E., 1888: Das Altersprinzip bei der Nomenclatur der Eruptivgesteine (Vortrag). - *Verh. k. k. geol. R.-A.*, Jg. 1888, Nr. 7, S. 166, Wien.
- UNGER, F., 1843: Die naturhistorischen Verhältnisse. - In: Grätz, ein naturhist.-statist.-topograph. Gemälde dieser Stadt u. ihrer Umgeb., v. G. Schreiner, Graz.
- UNTCH, J., 1872: Beiträge zur Kenntnis der Basalte Steiermarks etc. - *Mitt. Naturw. Ver. Stmk.*, Jg. 1872, 47-60, Graz.
- VINZENZ, M., 1988: Prospektion auf expandierende Tone im Raum Fehring. - 156 S., Unveröff. Ber., Leoben.
- WEISS, A., 1982: Die Anfänge der geologischen Durchforschung der Steiermark. - *Mitt. Ges. Geol. Bergbauernturns d. Österr.*, 28, 201-214, Wien.
- WIEDEN, P. & SCHMIDT, W.J., 1956: Der Illit von Fehring. - *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 5, H. 4, 284-302, Wien.
- WINKLER, A., 1913: Das Eruptivgebiet von Gleichenberg in Oststeiermark. I. Der Werdegang der Geologischen Forschung im Eruptivgebiet. II. Der geologische Bau der Region um St. Anna, Hochstraden, Klöch. - *Jahrb. Geol. R. A.*, 53, 403-502, Wien.
- WINKLER, A., 1914: Die tertiären Eruptiva am Ostrande der Alpen. - *Z. f. Vulkanologie*, 1, 167-196, Berlin.
- WINKLER, A., 1921: Beitrag zur Kenntnis des oststeirischen Pliocäns. - *Jb. geol. R.-A.*, 50 S., Wien.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1926: Über die Entstehung und das Alter der Basaltausbrüche im östlichen Steirischen Becken am Rande der Kleinen Ungarischen Ebene. - *Földtani Közlöny*, 55, 379-384, Budapest.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1927a: Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte Blatt „Gleichenberg“. - 164 S., Wien (Geol. B. A.).
- WINKLER-HERMADEN, A., 1927b: Der jungtertiäre Vulkanismus im Steirischen Becken. - *Z. f. Vulkanologie*, 11, 1-32, Berlin.

- WINKLER-HERMADEN, A., 1928a: Führer zur geologischen Exkursion in das südliche Wiener Becken, an den Ostfuss des Hochwechsels und in das oststeirische Vulkan- und Tertiärgebiet. - Mitt. Geol. Ges., 20, 170-181. Wien.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1928b: Der jüngere Vulkanismus am Rande der Alpen. - C. R. 14. Congr. Geol. Int., 6, fasc. 4, 1439-1445, Madrid.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1933: Ergebnisse über junge Abtragung und Aufschüttung am Ostrande der Alpen. - Jahrb. d. Geol. B.-A., 58, 233-273, Wien.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1939: Geologischer Führer durch das Tertiär und Vulkangebiet des Steirischen Beckens. - Sammlung Geolog. Führer, 36, 209 S., Berlin.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1940: Die jungtertiäre Entwicklungsgeschichte der Ostabdachung der Alpen. - Zentralbl. f. Min. etc., Jg. 1940, Abt. B.No. 8, 217-231, Stuttgart.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1943: Die jungtertiären Ablagerungen an der Ostabdachung der Zentralalpen und das inneralpine Tertiär. - Geologie der Ostmark, 295-404, Wien.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1957a: Vulkantektonische Ergebnisse über einige näher studierte oststeirische Tuff- und Basaltvorkommen. - Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. Natw. Kl., I, 166, 164-175, Wien.
- WINKLER-HERMADEN, A., 1957b: Geologisches Kräftespiel und Landformung. - 822 S., Springer-Verlag, Wien.
- ZEDNICEK, W., 1984: Auflicht- und rasterelektronenmikroskopische Studien an Erzeinschlüssen in den Basalten des oststeirischen Vulkangebietes (Steinberg bei Feldbach, Straden, Klösch) und im Shoshonit von Weitendorf. - Mitt. Abt. Miner. Landesmus. Joanneum 52, 27-43, Graz.
- ZETINIGG, H., 1994: Die Mineral- und Thermalquellen der Steiermark. Graz 1992/93. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, 50/51, 362 S., Graz.
- ZIRKL, E.J., 1986: Kurzfassung über technische Daten der tertiären Vulkanite Steiermarks. - In: NIEDERL & SUETTE: Aufnahme und Bewertung von Dekor- und Nutzgesteinen der Steiermark, V. Tertiäre Vulkanite, 122 S., Unveröff. Ber., Graz.
- ZÖTL, J. & GOLDBRUNNER, J.E., 1993: Die Mineral- und Heilwässer Österreichs. - 324 S., Springer-Verlag, Wien-New York.