

# I. ABHANDLUNGEN

Aus dem Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Graz

## Untersuchungen über Olivin und Klinopyroxen sowie über Auswürflinge des basaltischen Vulkanismus der Oststeiermark

Von Haymo HERITSCH und Huschang ROHANI

Mit 1 Abbildung und 7 Tabellen (im Text)

Eingelangt am 19. Jänner 1973

**Inhalt:** Klinopyroxene und Olivine aus basaltischen Gesteinen werden chemisch und röntgenographisch untersucht, ihre mittlere chemische Zusammensetzung wird bekanntgegeben. Besonders die Einsprenglinge in den basaltischen Gesteinen unterscheiden sich in charakteristischer Weise in ihrer Zusammensetzung und ihrem Nickelgehalt von den Olivinen der bekannten Olivinbomben. Sie verdanken so offenbar nicht demselben Vorgang ihre Entstehung.

Große Auswürflinge basaltischer Gesteine in Tuffiten von Altenmarkt bei Riegersburg sind Nephelinite und Nephelinbasanite, kleine Lapilli von Pertlstein bei Feldbach sind sekundär stark verändert. Die Ursache der Veränderung wird diskutiert.

### Einleitung

Eine Grundlage der vorliegenden Arbeit ist die Dissertation von H. ROHANI 1971, in der chemische Analysen nicht nur von Gesamtgesteinen, sondern auch von isolierten Mineralien, Klinopyroxenen und Olivinen, und eine vorläufige Berechnung dieser Analysen gebracht werden. Weiterhin stammen von H. HERITSCH auf Grund von neuen Analysendaten (Kohlendioxid- und Schwefelbestimmungen) weitgehende Neuberechnungen der von H. ROHANI gegebenen Daten, besonders bei modalen Mineralbeständen, sowie die gesamte Röntgenkristallographie, für die ein eigenes least squares Programm benützt wurde.

Ziele der Arbeit sind einerseits eingehende Untersuchungen von basaltischen Auswürflingen und Lapilli in Tuffiten des pliozänen Vulkanismus. Hiedurch wird auch ein Beitrag zur Frage der Palagonittuffe gegeben. Andererseits sollen Klinopyroxene und Olivine aus basaltischen Gesteinen desselben pliozänen Vulkanismus chemisch und röntgenographisch bearbeitet werden, um der Frage der Genese der basaltischen Gesteine des oststeirischen pliozänen Vulkanismus näher zu kommen.

### Arbeitsmethoden

Die Abtrennung der Mineralphasen, die gelegentlich sehr mühsam war, erfolgte vorwiegend mit dem Frantz Isodynamic Separator. Für die chemischen Analysen kamen klassische Methoden zur Anwendung, die Alkalien sind flammenfotometrisch bestimmt. Der Vorteil, aus einer größeren Menge isolierter Kristalle Untersuchungen durchzuführen, ist es, daß so Durchschnittswerte gewonnen werden und der Oxydationswert des Eisens bestimmbar ist. Es wird aber sinnvoll sein, diese chemischen Durchschnittswerte mit Hilfe der Mikrosonde auf ihre Schwankungen in Hinblick auf ihre Zonarität und in Hinblick auf Einsprenglings- und Grundmassekristalle zu prüfen. Sicher sind ja, natürlich optisch

überprüfbar, die Klinopyroxene stark zonar; ähnliches ist auch bei den Einsprenglingen von Olivin zu erwarten. In diese Richtung weisen auch die Untersuchungen von KURAT 1971 an Klinopyroxenen und Olivinen von basaltischen Schlacken des Fundpunktes Kapfenstein.

Die röntgenkristallographischen Daten sind aus mit Standards geeichten Diffraktometeraufnahmen gewonnen.

### Klinopyroxene

Die Abtrennung der Klinopyroxene aus den basaltischen Gesteinen gestaltete sich unterschiedlich schwierig. Verhältnismäßig leicht isolierbar waren die Klinopyroxene aus einer Blasenlava und aus einem Nephelinit vom Steinberg. Hier konnte ein solcher Reinheitsgrad erzielt werden, daß die Analysen ohne jede Korrektur zu verrechnen waren, vgl. Tabelle 1. Aus den basaltischen Auswürflingen im Tuffit von Altenmarkt war es jedoch unmöglich, entsprechend reines Klinopyroxenmaterial zu gewinnen, so daß eine Korrektur für den immer mitlaufenden Olivin mit 5 % verrechnet werden mußte. Eine einigermaßen gute Abtrennung des Klinopyroxens aus dem Hauyn-Nephelinit von Hochstraden, (SCHOKLITSCH 1932, HERITSCH 1963) war schon deshalb nicht möglich, weil hier der Klinopyroxen mit Hauyn bzw. Leuzit, besonders am Rand, aber auch mit Apatit und Magnetit bei ungemeiner Feinkörnigkeit verwachsen ist. Es mußten daher 18 % Beimengungen verrechnet werden.

Bei den Analysen der Tabelle 1 sind die auf diese Weise korrigierten chemischen Analysen auf 100,00 % umgerechnet angegeben, wobei natürlich der Wert für den Klinopyroxen von Hochstraden relativ unsicher ist. Für die chemische Formel gilt die Basis 6 Sauerstoffatome; die Teilsilikate sind nach YODER und TILLEY 1962 berechnet. Gegenüber dem Klinopyroxen aus einer basaltischen Schlacke von Kapfenstein (KURAT 1971) zeigt sich, daß die hier untersuchten Klinopyroxene aus basaltischen Gesteinen des oststeirischen Vulkanismus meistens recht gut vergleichbare Werte aufweisen. Eine deutliche Ausnahme machen die Werte für Eisen, da bei den Klinopyroxenen von Kapfenstein kein  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ausgewiesen ist. Hierauf wird noch weiter unten einzugehen sein.

Ein weiterer Vergleich ähnlich zusammengesetzter Klinopyroxene mit eventuell gleicher Paragenese kann sich begreiflicher Weise nur auf einige Beispiele beschränken. Eine gute Vergleichsmöglichkeit besteht zu den Klinopyroxenen aus Olivin-Nepheliniten und Alkali-Olivinbasalten des nordhessischen-niedersächsischen Raumes (GRAMSE 1970). Allerdings ist auch hier zu berücksichtigen, daß die vorliegende Arbeit nicht die Mikrosonde als Arbeitsmethode verwendet, so daß über die Klinopyroxene der oststeirischen basaltischen Vulkanite zunächst aus chemisch-analytischen Daten allein eine Aussage über die Entwicklung der Klinopyroxene nicht gemacht werden kann, jedoch wohl etwas über ihre durchschnittliche Zusammensetzung und vor allem etwas über die Beteiligung von  $\text{Fe}^{3+}$ . Tatsächlich ist auch, wie für Alkalibasalte wegen ihres hohen Sauerstoffpartialdruckes erwartet (GRAMSE 1970:65), ein beachtlich hoher Wert  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in allen hier vorliegenden Klinopyroxenanalysen bestimmt worden. Im übrigen liegen die Klinopyroxene der oststeirischen basaltischen Gesteine ebenfalls nahe der Verbindungslinie Di-Hd im Pyroxentrapez, vgl. Abb. 1, ebenso sind sie auch Na-, Ti- und Al-reich und enthalten immer beträchtliche Mengen der Titanagit- bzw. Tschermakiteilsilikate (YODER & TILLY 1962).

Es ist hier noch ergänzend zu erwähnen, daß schon SCHOKLITSCH (1932:345) aus den verschiedenen Auslöschungsschiefen (Zonarität) und der Doppelbrechung für Klinopyroxene der Oststeiermark auf einen diopsidreichen Kern und einen titanreichen Rand geschlossen hat, was einem Zunehmen des Ti- und Al-Ge-

haltes gegen den Rand zu entspricht und somit in Übereinstimmung mit den von GRAMSE 1970 und KURAT 1971 geschilderten Verhältnissen steht, vgl. auch HUCKENHOLZ 1965. Hier werden Mikrosonden-Untersuchungen an weiterem oststeirischen Material einzusetzen sein.

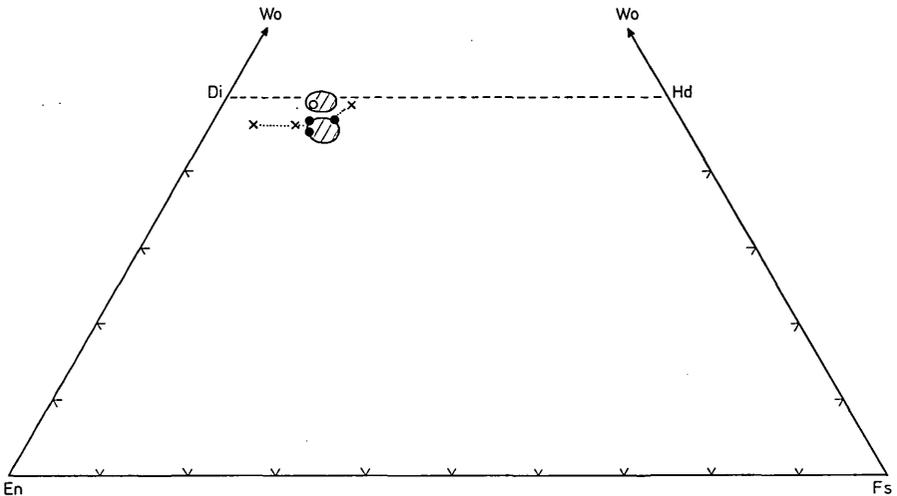


Abb. 1: Variationsbereich von Klinopyroxen in verschiedenen basaltischen Gesteinen. (Mol. % Wo-En-Fs). Schraffierte Bereiche: Klinopyroxene aus Alkali-Olivinbasalt bzw. Olivin-Nephelinit des nordhessisch-südniedersächsischen Raumes (GRAMSE 1970).

- Klinopyroxene aus basaltischen Gesteinen vom Steinberg bei Feldbach und Altenmarkt bei Riegersberg.
- Klinopyroxen aus dem Hauyn-Nephelinit vom Hochstraden bei Gleichenberg.
- × Klinopyroxen und seine Zonarität aus Basaltschlacke von Kapfenstein bei Fehring (KURAT 1971).

Von einem Klinopyroxen ähnlicher Zusammensetzung sind auch Gitterkonstanten von CLARK, APPLEMAN & PAPIKE 1969:32 angegeben worden, wobei der Wert für  $b$  mit 8,844 (1) Å noch niedriger ist, als in den vorliegenden Augiten.

Für ebenfalls Al-reiche Augite sind jedoch auffallenderweise von LEWIS 1967 viel größere Gitterkonstanten  $b$  gefunden worden. Die Verhältnisse sind hier wohl wegen der komplizierten Ersatzmöglichkeiten nur sehr schwer übersehbar. Bei den vorliegenden Augiten ist ganz offenbar die Gitterkonstante  $b$  durch den hohen totalen Al-Gehalt verkleinert und die Gitterkonstante  $c$  durch den hohen Gehalt an Al in der IV-Koordination vergrößert, vgl. LEWIS 1967 und die dort zitierte Literatur.

Die Klinopyroxene aus dem Tuff von Tobaj (RICHTER 1971) sind Si-reicher, Fe-ärmer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ist nicht bestimmt worden) und Mg-reicher.

Die Klinopyroxene der tertiären Vulkanite der Hoheifel (HUCKENHOLZ 1965) sind meist wesentlich Al- und Ca-reicher. Mit dem Klinopyroxen von

Pauliberg (Piso 1970) bestehen ebenfalls ungünstige Vergleichsmöglichkeiten, da dieser Klinopyroxen neben einem niedrigen Si-Wert einen sehr hohen Ti-Gehalt aufweist, sodaß nicht nur der gesamte relativ hohe Al-Wert, sondern auch ein beträchtlicher Teil des Ti in die IV-Koordination eingerechnet werden muß.

Abschließend ist noch folgendes zu bemerken. Zur Berechnung modaler Mineralbestände von Gesteinen des Steinberges bei Feldbach (HERITSCH 1968) wurde eine Klinopyroxenzusammensetzung angenommen und erwähnt, daß diese Annahme überprüft werden muß. Die nun in der Tabelle 1 vorliegende Überprüfung zeigt, daß die seinerzeitige Annahme wohl hinsichtlich eines hohen Al-Gehaltes zutrifft, daß jedoch die Werte für Titan, Eisen und Alkalien viel zu hoch angesetzt wurden. Das wirkt sich natürlich auch auf die Berechnung der modalen Mineralbestände der Gesteine von Feldbach aus, wie noch im weiteren Verlauf der Arbeit gezeigt wird, vgl. Tabelle 6.

### Olivine

Mit Hilfe des Magnetseparators gelang es nicht, den Olivin so rein abzutrennen, daß die chemischen Analysen ohne Korrektur berechnet werden konnten. So mußten beim Olivin aus einem Auswürfling im Tuffit von Altenmarkt 5 % des begleitenden Klinopyroxens und 10 % des Gesamtgesteins (Korrosionsschläuche) in Rechnung gestellt werden. Beim Olivin aus dem Nephelinit vom Steinberg bei Feldbach mußte wegen des geringen Olivingehaltes des Gesteins eine sehr große Menge aufbereitet werden. Es kamen hier 10 % Klinopyroxen in Abrechnung. Die entsprechend korrigierten und auf 100,00 % umgerechneten Analysenwerte und die Berechnung der Analysen sind in der Tabelle 2 angeführt. Die Berechnung der Formel erfolgte auf der Basis von vier Sauerstoffatomen.

Aus der Analyse ergibt das für den Olivin von Altenmarkt 86—87 % Fo, für den Olivin vom Steinberg 81—83 % Fo. KURAT 1971 hat für Olivineinsprenglinge aus einer Basaltschlacke von Kapfenstein 80—81 % Fo gefunden, ebenso bestimmte RICHTER 1971 in Nephelinbasanitbruchstücken den Einsprenglingsolivin mit 85 % Fo.

Dem gegenüber haben Olivine aus Olivinbomben der Oststeiermark Gehalte von etwa 90—91 % Fo (SCHADLER 1914, ROSS et. al. 1954, KURAT 1971).

Zur Unterstützung und Kontrolle der angeführten chemisch-analytischen Ergebnisse kann auf die röntgenographische Bestimmung der Fo-Gehalte zurückgegriffen werden. An geeichteter Diffraktometeraufnahmen sind mit Hilfe eines eigenen least-squares-Programmes die Gitterkonstanten und das Zellvolumen mit ihren mittleren Fehlern bestimmt worden; aus diesen Daten ist nach JAHANBAGLOO 1969 der Fo-Gehalt zu finden, ebenso ist es möglich, aus den vermessenen  $d(130)$  den Fo-Gehalt zu bekommen (YODER & SAHAMA 1957). Die entsprechenden Ergebnisse bringt die Tabelle 3, die auch die Auswertung für einen Olivin aus einer Olivinbombe von Kapfenstein enthält. Damit ist das chemisch-analytische Ergebnis bestätigt, daß die Olivine der basaltischen Gesteine einen Gehalt von etwa 81—86 % Fo haben, während die Olivine der Bomben mit etwa 91 % Fo Mg-reicher sind.

Auch der Nickelgehalt zeigt ein ähnliches Verhalten. Die Tabelle 4 weist die entsprechenden Werte aus (HERITSCH 1969). Wie dort schon auseinandergesetzt, haben Einsprenglingsolivine im allgemeinen niedrigere Nickelgehalte als Olivine der Olivinbomben, vgl. die Literaturangabe bei HERTSCH 1969, ferner etwa SCHÜTZ 1967.

Wenn auch das hier untersuchte Material nicht aus reinem Olivin bestand, sondern mit maximal 10—15 % Fremdschubstanz verunreinigt war, so würde es im ungünstigsten Fall, wenn nämlich die Verunreinigung völlig Ni-frei wäre, noch immer erst 0,16 bis höchstens 0,24 % NiO enthalten, also sehr deutlich unter dem Wert, den Olivine aus Bomben von Kapfenstein aufweisen. Zum Vergleich sind in der Tabelle 4 die Nickelgehalte von Olivinen aus Alkali-Olivinbasalt und Olivin-Nephelinit des nordhessisch-südniedersächsischen Raumes (GRAMSE 1970) ebenso angeführt, wie die von KURAT 1971 für Kapfensteiner Material bestimmten Werte. Die Übereinstimmung ist augenfällig und legt weiterhin für den oststeirischen Vulkanismus die Deutung nahe, daß die Olivine der Olivinbomben nicht einfach Anreicherungen der jetzt vorliegenden Einsprenglingsolivine sind (HERITSCH 1969). Daran schließen sich natürlich alle weiteren Überlegungen über die Entstehung der Olivinbomben überhaupt, vgl. z. B. ROSS et al. 1954, HERITSCH 1963 u. KURAT 1971. Eine Ausweitung der Zahl der Untersuchungen, besonders mit der Mikrosonde wird noch auszuführen sein.

Die Werte für die Elemente Cr und Co (HERITSCH 1969) erweisen sich vorläufig als nicht charakteristisch.

### Auswürflinge im Tuffit von Altenmarkt bei Riegersburg

Die chemischen Analysen, Niggli-Werte und normativen Mineralbestände sind in der Tabelle 5 ausgewiesen. Die normativen Mineralbestände der Auswürflinge von Altenmarkt, sowie auch der Lapilli von Pertlstein sind ohne Berücksichtigung der Werte für CO<sub>2</sub> und S berechnet; diese werden als sekundäre Zufuhr angesehen. An diesem Fundpunkt kommen meist abgerundete, dunkle und dichte Gesteinsbrocken bis zu Kopfgröße und darüber vor. An solchen Stücken sind die chemischen Analysen und übrigen Untersuchungen ausgeführt. Schon ein Vergleich der Analysen selbst mit den Analysen von Nepheliniten und Nephelinbasaniten des Steinberges bei Feldbach (HERITSCH 1968) zeigt eine große Ähnlichkeit. Nur sind die Gesteine von Altenmarkt etwas ärmer an SiO<sub>2</sub>, CaO und Na<sub>2</sub>O, jedoch reicher an MgO. Dies drückt sich auch im normativen Mineralbestand in reichlichem Auftreten von Olivin und in der Abnahme von Diopsid und Nephelin aus. Der Magmentyp ist nach BURRI 1959 wie bei den Gesteinen des Steinberges theralitgabbroid bis gabbrotheralitisch, was wohl auch in der gleichen Stellung im Rahmen des pliozänen Vulkanismus begründet ist.

Mikroskopisch ist folgender Mineralbestand festzustellen:

**Einsprenglinge:** Olivin ist häufig idiomorph, gestreckt nach der Prismenzone {hk0}, mit Korrosionsschläuchen und gelegentlicher Umwandlung längs Spalten in „Iddingsit“. Korngrößen bis 1,5 mm.

Klinopyroxen ist ebenfalls zum größten Teil idiomorph mit den Begrenzungen {010}, {100}, {110}, {001}; Verzwillingung nach (100), zonar und leicht pleochroitisch. Korngröße ebenfalls bis 1,5 mm.

**Grundmasse:** In der ungemain feinkörnigen Grundmasse sind feine, nach kristallographisch Z-leistenförmig gestreckte Klinopyroxene erkennbar, ebenso etwas Plagioklas, der aber wegen seiner Kleinheit nicht zu bestimmen ist. Außerdem kommen feinste Erzkörnchen vor. Ein Teil der Grundmasse scheint glasig zu sein.

Um in einem solchen Fall eine Benennung, etwa nach STRECKEISEN 1967, durchführen zu können, muß der modale Mineralbestand berechnet werden. In diese Berechnung sind auch, schon wegen des nun bekannten Chemismus des Klinopyroxens und des Olivins, Nephelinit und Nephelinbasanit des Steinberges (HERITSCH 1968) einbezogen worden.

Ganz allgemein gilt für die Berechnung, daß zuerst routinemäßig die Accessorien Apatit, Kalzit, Magnetkies und Magnetit zu berücksichtigen sind. Hinsichtlich des Magnetits muß festgestellt werden, daß schon HERITSCH 1968 chemisch und röntgenographisch nachgewiesen hat, daß der Magnetit der basaltischen Gesteine von Steinberg sehr Ti-reich ist und 14,5 %  $\text{TiO}_2$  enthält. Nachträglich ist dann auch von KURAT 1971 in Basaltschlacken von Kapfenstein ein Magnetit mit einem Gehalt von 14,2 %  $\text{TiO}_2$  bestimmt worden, wobei KURAT 1971 aber auf diese ausgezeichnete Übereinstimmung nicht Bezug nimmt.

Dann wird Klinopyroxen der Zusammensetzung der Tabelle 1 in Rechnung gestellt, ebenso wie Olivin mit 80—85 % Fo und eventuell Plagioklas. Ein verbleibender Rest von  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und Alkalien wird auf alkalihaltige Gerüstsilikate verrechnet. In diesem Rest zeigt sich nun K : Na etwa im Verhältnis 1 : 3, wie das für Gesteinsnepheline als Regel gilt. Auch das Aluminium ist in entsprechender Menge vertreten, jedoch ist mehr Si vorhanden, als in Nephelin hineingerechnet werden kann. Es bieten sich so zwei Berechnungsmöglichkeiten an, die in Tabelle 6 dargestellt sind:

- a) Es werden Nephelin und daneben die beiden Si-reichen Mineralien Analzim und Leuzit verrechnet, dieser deshalb, weil nicht alles Kalium in den Nephelin hineingerechnet werden kann. Für die an und für sich mögliche Berechnung von Alkalifeldspäten zeigt das Schlibbild keinen Hinweis, während neben dem schwach licht- und doppelbrechenden Nephelin der Analzim und Leuzit in den angeführten Mengen kaum erkennbar ist; vielleicht deuten einige Linien in Diffraktometeraufnahmen auf Analzim (HERITSCH 1968). Darauf, daß Analzim und Leuzit in den basaltischen Gesteinen des steirischen Vulkanbogens vorkommen, hat schon SCHOKLITSCH 1932 hingewiesen, vgl. auch die Zusammenstellung bei HERITSCH 1963:215, sowie HERITSCH 1968 für Analzim in Nephelinit des Steinberges. Außerdem zeigte HERITSCH 1963 u. 1965, daß in den Hohlräumen des Hauyn-Nephelinites von Hochstraden die gesteinsbildenden Mineralien auch als Drusenbildungen vorkommen: Klinopyroxen, Apatit, Magnetit, Hauyn-Nosean, Nephelin, Leuzit und Analzim. Schließlich hat PISO 1970 ebenfalls Analzim in hellen Flecken des Basaltes vom Pauliberg beschrieben.
- b) Es wird nur Nephelin und das übrig bleibende  $\text{SiO}_2$  als eine  $\text{SiO}_2$ -Modifikation angesehen, z. B. Tiefcristobalit, der ebenfalls eine entsprechend niedrige Licht- und Doppelbrechung hat. Natürlich stehen Nephelin und die  $\text{SiO}_2$ -Modifikationen nicht im Gleichgewicht, was in Vulkaniten durchaus möglich ist.

Die Möglichkeit b) ist eine wasserfreie Erstarrung, während die Möglichkeit a) Wasser bei der Erstarrung der alkalireichen Restschmelze erfordert (ERNST & DRESCHER-KADEN 1941:122). Wahrscheinlich laufen beide Möglichkeiten nebeneinander, je nach Wasserangebot, ab. Es ist hier auch noch auf die Untersuchungen von HÖLLER 1970 hinzuweisen, dem es experimentell gelang, unter Einwirkung von Wasser und Wasser mit  $\text{Na(OH)}$  bei hydrothermalen Bedingungen nicht nur Nephelin allein in Analzim überzuführen, sondern auch in Nepheliniten und Nephelinbasaniten der Oststeiermark zu erzeugen. Wenn der Analzim und seine Verteilung als Ursache für den Sonnenbrenner anzusehen ist (ERNST & DRESCHER-KADEN 1941, ERNST 1960), dann wird man also für die oststeirischen basaltischen Gesteine und ihre Sonnenbrenner auch diese Entstehungsmöglichkeit des Analzims berücksichtigen müssen.

Abschließend kann noch darauf hingewiesen werden, daß es bei den Auswürfungen von Altenmarkt wegen der raschen Abkühlung zur Glasbildung

kommt; deshalb sind die errechneten Mineralien in Klammern in der Tabelle angeführt.

Die Benennung nach STRECKEISEN 1967, die sich naturgemäß auf die wasserfreie Erstarrung bezieht, und die vielleicht auch noch die Berechnung von Alkalifeldspat (anstelle von  $\text{SiO}_2$ -Mineral) ausweisen sollte, ist in der Tabelle 6 angegeben.

### Lapilli im Tuffit von Pertlstein bei Feldbach

Dunkle Lapilli von einem Korndurchmesser bis zu dem Bereich von mehreren Millimetern, eingebettet in Sedimentmaterial und mit Zeolith verkittet, kommen gehäuft in Lagen des Tuffitsteinbruches von Pertlstein vor. Die Gewinnung solcher Lapilli für die chemische Analyse ist sehr einfach durch leichtes Zerdrücken, eventuell unter Wasser, und mit Handauslesen zu erreichen. Die Lapilli entstammen, der geologischen Position entsprechend, natürlich dem pliozänen Vulkanismus. Die Analyse der Tabelle 5 zeigt aber merkliche Abweichungen von der chemischen Zusammensetzung der pliozänen Nephelinite und Nephelinbasanite in der Verarmung der Alkalien und in der bedeutenden Zunahme des Wassergehaltes, der in seinem Wert unter  $105^\circ\text{C}$  schwankend ist, so daß die Analyse auf bei  $105^\circ\text{C}$  getrocknete Substanz bezogen werden mußte. Infolge der Verarmung an Alkalien ist der Magmentyp der Lapilli nicht mehr in die atlantische, sondern in die pazifische Reihe mit etwa eukritisch einzuordnen.

Die Ursache hierfür ist offenbar die weitgehend sekundäre Umwandlung, die die Veränderung des Mineralbestandes zeigt. Unter dem Mikroskop ist folgendes feststellbar:

**Einsprenglinge:** Sehr selten Olivin und Klinopyroxen, teilweise idiomorph.

**Grundmasse:** Fast undurchsichtige braune Masse, in der feinste Lamellen von Klinopyroxen eine Fluidaltextur andeuten. Poren in der Grundmasse sind von Zeolith und Kalzit erfüllt. Gelegentlich sind Quarzkörner in die Grundmasse eingepreßt.

Diffraktometeraufnahmen der Lapilli zeigen Pyroxen- und Quarzpeaks. Nach Behandlung mit Äthylenglykoll tritt der charakteristische peak eines Montmorinminerals bei  $d = 17,0 \text{ \AA}$  auf. Eine DTA-Aufnahme lieferte ein ganz gleiches Bild, wie für das Montmorinmineral vom Steinberg (HERITSCH 1968: Abbildung 1), so daß auf eine Wiedergabe hier verzichtet werden kann.

Mit der Kenntnis der nun in den Lapilli vorhandenen Mineralien, läßt sich der modale Mineralbestand der Tabelle 7 berechnen.

Eine Deutungsmöglichkeit für die Lapilli ist offenbar darin gegeben, daß, bei gesamt atlantischem Chemismus der ursprünglichen Lapilli, selten Einsprenglinge von Olivin und Klinopyroxen in einer noch reichlich glasigen Masse mit feinen, leistenförmigen Augitkristallen auftreten und daß die Grundmasse sehr porös ist. Solange die Masse noch weich war, konnten Quarzkörnchen beim Auffallen auf Sand eingepreßt werden. Bei den folgenden sekundären Veränderungen wurde einerseits das Glas in die Montmorinminerale umgewandelt, vgl. die Verhältnisse im Glas des Nephelinbasanites von Steinberg (HERITSCH 1968:21); ferner bildete sich aus dem Eisenanteil des Glases oder auch aus kleinen Erzkörnchen Eisenhydroxyd. Weiterhin brachte die hydrothermale Nachphase in den Poren die Bildung von Phillipsit und Kalzit. In dem vorliegenden Fall ist Glas nicht mehr vorhanden oder nicht nachweisbar. Gegen das Vorhandensein von reichlichem Glas spricht auch die geringe Härte der Lapilli. Ob Glas-

lapilli (SIGMUND 1899) in den oststeirischen Tuffiten überhaupt vorkommen, muß erst durch ausgebreitete Untersuchungen geklärt werden.

KURAT 1971 konnte an Lapilli von Kapfenstein ebenfalls einen vom atlantischen Typus abweichenden Chemismus, nämlich den eines Olivintholeites bestimmen. Er ist aber der Meinung, daß dieser Chemismus der ursprüngliche ist. Er hat auch an Lapilli von Kapfenstein keine sekundären Veränderungen beschrieben. Die chemische Zusammensetzung der Lapilli von Kapfenstein stimmt in groben Zügen mit der der Lapilli von Pertlstein überein.

Zu dem Glas der Lapilli ist noch eine Bemerkung zu machen. In einer im hiesigen Institut ausgeführten umfangreichen Arbeit über Gesteinsgläser in den basaltischen Gesteinen des Steinberges bei Feldbach konnte H. J. HÜLLER zeigen, daß alle diese Gesteinsgläser eine sehr ähnliche chemische Zusammensetzung haben; ein Vorbericht der Arbeit ist im Druck. Diese Glaszusammensetzung der Gläser des Steinberges ist der Glaszusammensetzung in den Lapilli von Kapfenstein (KURAT 1971) ähnlich.

Jedenfalls ist es bemerkenswert, daß große basaltische Auswürflinge durchaus den atlantischen Chemismus zeigen und kleine Lapilli nicht. Ohne einer eingehenden Untersuchung vorgreifen zu wollen, scheint es jedoch sehr plausibel zu sein, daß eben poröse kleine Lapilli leichter sekundär zu verändern sind, als große Auswürflinge, deren eventuell sekundär veränderte Randpartien in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht worden sind.

So wäre die nach KURAT 1971:204 nicht leicht verständliche Tatsache, daß die Lapilli nicht nur einen zum Olivintholeit geänderten Gesamtchemismus haben, sondern auch stark an  $\text{Na}_2\text{O}$  defizitär sind, obwohl sie aus Klinopyroxen und  $\text{Na}_2\text{O}$ -reichem Glas bestehen, folgendermaßen zu erklären: zur Analyse der beiden Gläser (KURAT 1971:198) wurde eine Stelle mit nicht oder sehr wenig verändertem Glas getroffen. Das Analysenmaterial der Lapilli hingegen umfaßt aber schon starke sekundäre Veränderungen im Sinne der Lapilli von Pertlstein.

### **Temperatur der basaltischen Magmen der Oststeiermark**

An teilweise aufgeschmolzenen Einschlüssen im Basanit von Klöch konnte auf eine Temperatur von etwa  $900\text{--}950^\circ\text{C}$  zur Zeit der Aufnahme in das Magma geschlossen werden (HERITSCH 1964). Weiterhin ist aus dem Schmelzverhalten von Trachyandesit- bzw. Trachyt-Tuffen als Einschluß im Nephelinit vom Steinberg auf eine Temperatur von etwas über  $1030^\circ\text{C}$  wiederum zur Zeit der Aufnahme des Einschlusses geschlossen worden (HERITSCH 1968).

Neuerdings hat nun KURAT (1971), ohne auf diese beiden vorliegenden Bestimmungen Bezug zu nehmen, aus Verteilungskoeffizienten für Basaltschlacke auf eine Temperatur zwischen  $900^\circ\text{C}$  und  $1175^\circ\text{C}$  geschlossen.

Die Zusammensetzung der Erze, titanhaltiger Magnetit (HERITSCH 1968, KURAT 1971) und Ilmenit gestattet nun eine weitere Temperaturabschätzung nach BUDDINGTON & LINDSLEY 1964. In der von den beiden Autoren vorgeschlagenen Berechnungsart folgt die Zusammensetzung der beiden Erzphasen  $\text{Ulvöspinell}_{58}$  Magnetit<sub>42</sub> und Ilmenit<sub>84</sub> Hämatit<sub>16</sub>. Das ergibt eine Temperatur von über  $1000^\circ\text{C}$ .

Abschließend kann bemerkt werden, daß die Berechnung der Gitterkonstante des Magnetits aus der Basaltschlacke von Kapfenstein nach der von KURAT 1971 angegebenen Zusammensetzung den Wert  $a = 8,41 \text{ \AA}$  ergibt; die Übereinstimmung mit der beobachteten Gitterkonstante von titanhaltigem Magnetit vom Steinberg (KURAT 1971), (HERITSCH 1968)  $a = 8,45 \text{ \AA}$  ist nicht besonders gut.

T a b. 1: Klinopyroxene aus basaltischen Gesteinen des pliozänen Vulkanismus der Oststeiermark. Chemische Analysen H. ROHANI.

	Steinberg, aus Blasenlava	Steinberg, aus Nephelinit	Altenmarkt, aus Basanit R4	Hochstraden, aus Hauyn-Nephelinit
SiO <sub>2</sub>	49,06	49,26	47,41	49,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,99	6,07	6,09	4,98
TiO <sub>2</sub>	1,58	1,45	1,97	1,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,40	4,55	5,35	3,76
FeO	3,45	2,75	3,27	2,35
MnO	0,12	0,14	0,14	0,28
MgO	13,40	13,83	13,09	13,37
CaO	20,90	20,12	21,79	22,40
Na <sub>2</sub> O	1,15	1,27	0,70	1,26
K <sub>2</sub> O	0,16	0,21	0,19	0,10
Glv.	0,65	0,56	—	—
	99,86	100,21	100,00	100,00
Si	1,823	1,819	1,766	1,832
Al	0,177	0,181	0,234	0,168
Z	2,00	2,00	2,00	2,00
Al	0,085	0,083	0,033	0,048
Ti	0,044	0,040	0,055	0,052
Fe <sup>3+</sup>	0,095	0,126	0,150	0,104
Fe <sup>2+</sup>	0,107	0,085	0,102	0,073
Mn	0,004	0,004	0,004	0,009
Mg	0,742	0,761	0,726	0,736
Y	1,08	1,10	1,07	1,02
Ca	0,832	0,796	0,870	0,886
Na	0,083	0,090	0,051	0,090
K	0,008	0,010	0,009	0,005
WX	0,92	0,90	0,93	0,98
Ca	47	45	47	49
Mg	42	43	39	41
Fe	11	12	14	10
Ac	9,1	10,1	6,0	9,5
Tsch	8,7	10,5	12,4	5,6
Ti-A	4,4	4,0	5,5	5,2
Hd	11,1	9,0	10,5	8,1
Di	66,7	66,4	65,5	71,6
a [Å]	9,729 (4)	9,736 (4)	9,749 (5)	9,759 (4)
b [Å]	8,874 (2)	8,872 (2)	8,881 (3)	8,909 (2)
c [Å]	5,266 (3)	5,270 (2)	5,276 (3)	5,271 (5)
β [°]	106,16 (4)	106,24 (3)	106,11 (5)	105,92 (3)
V [Å <sup>3</sup> ]	436,7 (3)	437,0 (3)	438,8 (4)	440,7 (5)
exp.				
d [g.cm <sup>-3</sup> ]	3,30	3,32	—	—
calc.				
d [g.cm <sup>-3</sup> ]	3,36	3,36	3,38	3,34

T a b. 2: Olivineinsprenglinge aus basaltischen Gesteinen des pliozänen Vulkanismus der Oststeiermark. Chemische Analysen H. ROHANI.

	Altenmarkt, aus Auswürfling R4	Steinberg, aus Nephelinit
SiO <sub>2</sub>	39,75	37,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36	0,28
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,07	2,57
FeO	12,52	15,82
MnO	0,28	0,43
MgO	45,87	42,91
CaO	0,15	0,10
	100,00	100,00
Si	0,990	0,967
Al	0,010	0,008
Ti	—	—
Fe <sup>3+</sup>	0,020	0,049
Fe <sup>2+</sup>	0,261	0,337
Mn	0,006	0,009
Mg	1,703	1,631
Ca	0,004	0,002
[6]	2,004	2,036
Mg	87	83
Fe <sup>2+</sup>	13	17
Mg	86	81
Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup>	14	19

T a b. 4: NiO-Gehalte (in Gewichtsprozenten) in Olivinen aus den Vulkangebieten der Oststeiermark und Nordhessen — Südniedersachsens.

Oststeiermark	Nordhessen — Südniedersachsen
Einsprenglinge	Einsprenglinge
in Nephelinit-Auswürfling Altenmarkt (HERITSCH 1969)	in Alkali-Olivinbasalt Hirzstein (GRAMSE 1970)
0,20	0,18 <sup>1)</sup>
in Nephelinit Steinberg (HERITSCH 1969)	in Olivin-Nephelinit Westberg (GRAMSE 1970)
0,14	0,24 <sup>1)</sup>
in Basaltschlacke Kapfenstein (KURAT 1971)	
0,19 <sup>1)</sup>	
aus Olivinbomben	aus Peridotitknollen
Kapfenstein (ROSS et al. 1954)	5 Fundpunkte
0,32	(GRAMSE 1970)
Kapfenstein (HERITSCH 1969)	0,31—0,38
0,42	
Kapfenstein (KURAT 1971)	
0,48	

<sup>1)</sup> Mittelwert

T a b. 3: Röntgenkristallographische Daten von Olivinen aus dem pliozänen Vulkanismus der Oststeiermark und die daraus bestimmten Forsteritgehalte nach JAHANBAGLOO (1969) bzw. nach YODER und SAHAMA (1957).

	Altenmarkt		Steinberg		Kapfenstein	
	Auswürfling R4		Nephelinit		Olivinbombe	
a [Å]	4,765 (3)	85 % Fo	4,763 (4)	88 % Fo	4,761 (4)	91 % Fo
b [Å]	10,241 (6)	84 % Fo	10,249 (7)	81 % Fo	10,223 (5)	90 % Fo
c [Å]	5,998 (6)	86 % Fo	6,011 (8)	76 % Fo	5,995 (5)	89 % Fo
d (130) [Å]	2,775	86 % Fo	2,778	82 % Fo	2,772	91 % Fo
V [Å <sup>3</sup> ]	292,7 (4)	85 % Fo	293,4 (5)	81 % Fo	291,8 (4)	90 % Fo
Mittel		85 % Fo		82 % Fo		90 % Fo
chemische Analyse		86 % Fo		81 % Fo		91 % Fo <sup>1)</sup> 90 % Fo <sup>2)</sup>
exp. d [g.cm <sup>-3</sup> ]		3,32		3,41		3,324 <sup>1)</sup>
calc. d [g.cm <sup>-3</sup> ]		3,39		3,47		3,34

<sup>1)</sup> ROSS et al. 1954

<sup>2)</sup> KURAT 1971

T a b. 5: Chemische Analysen und ihre Berechnungen von basaltischen Auswürflingen des pliozänen Vulkanismus der Oststeiermark. Chemische Analysen H. ROHANI und F. BEUTLE.

	Altenmarkt Auswürfling R3	Altenmarkt Auswürfling	Pertlstein Lapilli
SiO <sub>2</sub>	44,92	44,20	42,84
TiO <sub>2</sub>	1,98	1,99	3,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,38	14,13	10,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,53	4,78	8,57
FeO	4,77	4,75	3,81
MnO	0,19	0,16	0,18
MgO	8,34	8,11	9,53
CaO	9,34	9,80	11,24
Na <sub>2</sub> O	5,11	3,83	1,23
K <sub>2</sub> O	2,58	2,40	1,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57	0,98	0,67
CO <sub>2</sub>	0,92	0,46	2,17
FeS	0,49	0,00	0,00
Glv.	1,15	2,81	4,90
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,92	1,73	—
	100,19	100,13	100,11
si	99	101	96,5
al	18,5	19	14
fm	45	45	54,5
c	22	24	27
alk	14,5	12	4,5
k	0,25	0,3	0,4
mg	0,6	0,6	0,6
Q	—	—	1,4
Or	15,7	14,9	7,9
Ab	7,9	13,6	11,2
An	8,9	15,0	21,3
Ne	19,8	11,1	—
Di	27,6	23,0	26,4
Hy	—	—	13,3
Ol	8,0	8,7	—
Il	3,9	4,0	6,3
Mt	6,8	7,3	4,2
Hm	—	—	6,3
Ap	1,4	2,4	1,7
Magmentyp	theralithgabbroid	theralithgabbroid	(eukritisch)

T a b. 6: Modale Mineralbestände von Auswürflingen basaltischer Gesteine im Tuffit von Altenmarkt und von basaltischen Gesteinen des Steinberges bei Feldbach, Oststeiermark. Angaben in Gewichtsprozenten.

	Altenmarkt Auswürfling R3 Nephelinit		Altenmarkt Auswürfling Nephelinitbasanit		Steinberg 1 Nephelinit HERITSCH 1968		Steinberg 2 Nephelinit HERITSCH 1968		Steinberg 3 Nephelinitbasanit HERITSCH 1968	
	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
Klinopyroxen	30,6	31,2	29,0	29,0	47,7	48,3	47,4	47,7	40,2	40,6
Olivin	9,6	9,8	10,4	10,4	—	—	0,9	1,0	1,1	1,1
Plagioklas	6,5	6,6	16,3	16,3	—	—	3,6	3,6	16,6	26,2
Nephelin	(4,3)	(30,3)	—	(19,4)	22,2	35,0	22,7	32,7	15,8	16,7
Analcim	(28,3)	—	(21,9)	—	15,2	—	11,8	—	13,6	—
Leucit	(10,2)	—	(11,4)	(4,2)	3,6	—	2,8	—	1,7	—
SiO <sub>2</sub> -Mineral	—	(11,4)	—	(9,7)	—	5,3	—	4,1	—	4,2
Magnetit	5,1	5,2	6,2	6,2	10,3	10,4	10,2	10,3	10,7	10,9
Ilmenit	1,5	1,5	1,3	1,3	—	—	—	—	—	—
Magnetkies	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Calcit	2,1	2,1	1,1	1,1	—	—	—	—	—	—
Apatit	1,3	1,4	2,4	2,4	1,0	1,0	0,6	0,6	—	0,3

Eingeklammerte Werte: teilweise als Glas entwickelt

T a b. 7: Modaler Mineralbestand von Lapilli im Tuffit von Pertlstein bei Feldbach, Oststeiermark. Angaben in Gewichtsprozenten.

Klinopyroxen	29,7
Plagioklas	8,1
Ilmenit	3,1
Magnetit	8,3
Apatit	1,6
Montmorin	28,3
Phillipsit	10,0
Limonit	1,8
Kalzit	5,1
Quarz	4,0

### Zusammenfassung

Aus basaltischen Gesteinen des oststeirischen pliozänen Vulkanismus werden Klinopyroxen und Olivin isoliert und einer chemischen und röntgenkristallographischen Untersuchung zugeführt. Damit ist die mittlere Zusammensetzung dieser beiden Mineralien im genannten Rahmen bekannt. So konnte gezeigt werden, daß sowohl bei Olivin, wie auch bei Klinopyroxen Parallelen zu dem Olivin und Klinopyroxen in der Basaltschlacke von Kapfenstein (KURAT 1971) und in Alkali-Olivinbasalt und Olivin-Nephelinit des nordhessisch-südniedersächsischen Raumes (GRAMSE 1970) bestehen.

Auf Grund der chemischen Zusammensetzung und des Nickelgehaltes ist es sehr wahrscheinlich, daß der Olivin der Olivinbomben und der Einsprenglingsolivin in den basaltischen Gesteinen der Oststeiermark nicht demselben Entstehungszyklus angehören.

Größere Auswürflinge im pliozänen Tuffit von Altenmarkt bei Riegersburg, Oststeiermark, fügen sich als Nephelinit oder Nephelinbasanit in den atlantischen Rahmen des oststeirischen Vulkanismus.

Kleine Lapilli von Pertlstein bei Feldbach sind bedeutenden sekundären Veränderungen, vor allem durch Bildung von Montmorinmineralien und Zeolithen (Phillipsit) ausgesetzt gewesen.

Zur Bearbeitung standen die Einrichtung des Institutes für Mineralogie und Petrographie der Universität Graz zur Verfügung; für die Berechnung konnte die UNIVAC 494 des Rechenzentrums Graz benützt werden.

### Literatur

- BUDDINGTON A. F. & LINDSLEY D. H. 1964. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. — *J. Petrol.*, 5:310-357.
- BURRI C. 1959. Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. — Birkhäuser, Basel und Stuttgart.
- CLARK J. R., APPLEMAN D. E. & PAPIKE J. J. 1969. Crystal-chemical characterization of clinopyroxenes based on eight new structure refinements. — *Miner. Soc. Amer. Spec. Pap.*, 2:31-50.
- ERNST Th. 1960. Probleme des „Sonnenbrandes“ basaltischer Gesteine. — *Z. Deutsch. geol. Ges.*, 112:178-182.
- ERNST Th. & DRESCHER-KADEN F. K. 1941. Über den „Sonnenbrand“ der Basalte. — *Z. angew. Miner.*, 3:73-141.
- GRAMSE M. 1970. Quantitative Untersuchungen mit der Elektronen-Mikrosonde an Pyroxenen aus Basalten und Peridotit-Einschlüssen. — *Contr. Miner. Petrol.*, 29:43-73.
- HERITSCH H. 1963. Exkursion in das oststeirische Vulkangebiet. — *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 93:206-226.
- HERITSCH H. 1964. Über Einschlüsse im Basanit von Klöch, Oststeiermark. — *Anz. math.-naturwiss. Kl. Österr. Akad. Wiss.*, 247-248.
- HERITSCH H. 1965. Mineralien aus dem Steinbruch bei Wilhelmsdorf am Stradner Kogel, südlich Gleichenberg, Steiermark. — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt.*, 9:228-241.
- HERITSCH H. 1968. Vulkanische Gesteine vom Steinberg bei Feldbach, Steiermark. — *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 98:16-26.
- HERITSCH H. 1969. Ni-Gehalte von Olivinen aus Olivinbomben und basaltischen Gesteinen des oststeirischen Vulkanbogens. — *Anz. math.-naturwiss. Kl. Österr. Akad. Wiss.*, 209-211.
- HÖLLER H. 1970. Untersuchungen über die Bildung von Analcim aus natürlichen Silikaten. — *Contr. Miner. Petrol.*, 27:80-94.
- HUCKENHOLZ H. G. 1965. Der petrogenetische Werdegang der Klinopyroxene in den tertiären Vulkaniten der Hocheifel I. Die Klinopyroxene der Alkaliolivin-basalt-Trachyt-Assoziation. — *Beitr. Miner. Petrol.*, 11:138-195.
- JAHANBAGLOO I. C. 1969. X-ray diffraction study of olivine solid solution series. — *Amer. Miner.*, 54:246-250.
- KURAT G. 1971. Granat-Spinell-Websterit und Lherzololith aus dem Basalttuff von Kapfenstein, Steiermark. — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt.*, 16:192-214.
- LEWIS J. F. 1967. Unit-cell dimensions of some aluminous natural clinopyroxenes. — *Amer. Min.*, 52:42-54.
- PISO E. 1970. Zusammensetzung und Genese der Basalte des Pauliberger und von Stoob-Oberpullendorf (Burgenland). — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt.*, 14:103-139.
- RICHTER W. 1971. Ariëgite, Spinell-Peridotite und Phlogopit-Klinopyroxenite aus dem Tuff von Tobaj im südlichen Burgenland. — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt.*, 16:227-251.
- ROHANI H. 1971. Untersuchungen an basaltischen Gesteinen des oststeirischen Vulkanismus. — *Diss. Univ. Graz*.
- ROSS C. S., FOSTER M. D. & MYERS A. T. 1954. Origin of dunites and of olivine-rich inclusions in basaltic rocks. — *Amer. Miner.*, 39:693-737.
- SCHADLER J. 1914. Zur Kenntnis der Einschlüsse in den südsteirischen Basalttuffen und ihrer Mineralien. — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt. (N. F.)*, 32: 485-511.

- SCHOKLITSCH K. 1932. Beiträge zur Kenntnis der oststeirischen Basalte. I. Teil.  
— N. Jb. Miner. Beil. 63, Abt. A:319-370.
- SCHÜTZ D. 1967. Petrographisch-geochemische Untersuchungen an Olivinknollen  
verschiedener Vorkommen. — N. Jb. Miner., Abh., 106:158-190.
- SIGMUND A. 1899. Die Basalte der Steiermark. — Tschermaks miner. petrogr.  
Mitt. (N. F.), 18:377-407.
- STRECKEISEN A. L. 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks. —  
N. Jb. Miner., Abh., 107:144-214.
- YODER H. S. & SAHAMA Th. G. 1957. Olivine X-ray determinative curve. — Amer.  
Miner., 42:475-491.
- YODER H. S. & TILLEY C. E. 1962. Origin of basalt Magmas: An experimental  
study of natural and synthetic rock systems. — J. Petrol., 3:342-532.
- Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. Haymo HERITSCH und Dr. Huschang  
ROHANI, Universität Graz, Institut für Mineralogie  
und Petrographie, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz.