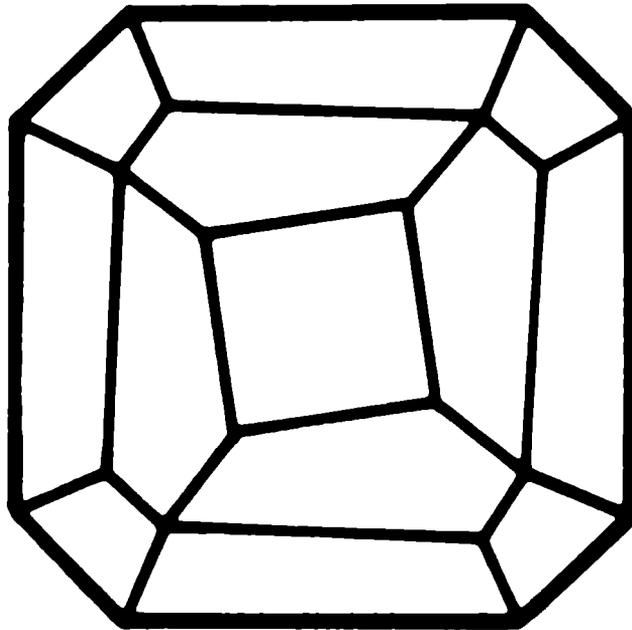


# Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft



**Band 145**

**2000**

Herausgegeben von der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft  
für das Vereinsjahr 1999  
Eigenverlag

# Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft

**Band 145**



**2000**

## Vereinsjahr 1999

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr in Wien.

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Verleger: Österreichische Mineralogische Gesellschaft  
p.A. Mineralogisch-Petrographische Abteilung, Naturhistorisches Museum Wien  
Burgring 7, A-1014 Wien

Homepage: <http://www.univie.ac.at/Mineralogie/Oemg.htm>

**Redaktion:**

Friedrich Koller, Institut für Petrologie, Universität Wien  
Geozentrum, Althanstraße 14, A-1090 Wien  
Anton Beran, Institut für Mineralogie & Kristallographie, Universität Wien  
Geozentrum, Althanstraße 14, A-1090 Wien  
Richard Tessadri, Institut für Mineralogie & Petrographie, Universität Innsbruck  
Innrain 52, A-6020 Innsbruck

**Gestaltung und Layout:**

R.Tessadri (Innsbruck)

Für den Inhalt sind die Autoren selbst verantwortlich.

Druck: Anton Riegelnik, Piaristengasse 19, A-1080 Wien

Printed in Austria

## INHALT

MinWien 1999, 28. August bis 1. September 1999, Wien (Nachtrag)

Arlt T. & Martinek K.-P.: Arsenpolybasit und Stephanit vom Silberberg bei Brixlegg, Tirol	S. 7
Bueble S.: Ist Calcit ferroelastisch ?	S. 7
Czegka W., Preiß S. & Dulski P.: Electrokinetic remediation of heavy metal contaminated organic rich sediments from the river Weiße Elster	S. 8
Kern A. & Coelho A.: 30 years of Rietveld analysis: the next generation	S. 8
Kitley G. & Lovas G.: Feldspathoid mineral paragenesis in basalt of Badacsonyördemic (Balaton Highland, Hungary)	S. 9
Mengel K. & Wittenberg A.: Felsische Zusammensetzung kontinentaler Kruste als Produkt kontinuierlicher Delamination mafischer Unterkruste	S. 9
Mogessie A., Ettinger K., Leake B.E. & Tessadri R.: AMPH-IMA97 – A Hypercard program for amphibole classification and nomenclature based on the 1997 International Mineralogical Association Scheme	S. 10
Neubauer J., Risch A. & Göbbels M.: Mineralogical aspects concerning the improvement of the critical current density of Ag-clad BPSCCO high Tc superconducting multi filamentary tapes	S. 10
Pfrang-Stotzl G. & Reichelt J.: Sinterversuche an Müllverbrennungsschlacken und an Gemischen aus Ofenschlacken und industriellen Nebenprodukten	S. 11
Recheis A., Bidner T. & Mirwald P.W.: Mineralogical-petrographical methods as a tool for culture historical investigations and conservation of monuments – Schloß Tirol	S. 11
Sonn E.K.: Flugaschen als Einsatzstoff für bautechnische Zwecke	S. 12
Velickov B. & Abs-Wurmbach I.: Interpretation der Mößbauer- und IR-Spektren von synthetischem Fe-Turmalin	S. 12

### Originalarbeiten

Niedermayr G. & Pertlik F.: Hans J. (Ritter von) Karabacek (*5.3.1878 †9.6.1963) – Ein später Nachruf	S. 15
René M.: Two-mica granites of the southwestern part of the South Bohemian Batholith	S. 21

### Vorträge

Stachel T.: Einschlüsse in Diamanten – “Bohrlöcher” in den tiefen Erdmantel	S. 31
Tropper P.: Neue experimentelle Untersuchungen an synthetischen Natrium-Amphibolen bei hohen Drucken (20–30 kbar) und Temperaturen (700–800°C)	S. 39

## Exkursionen

- Mogessie A., Felfernig A., Hauzenberger C.A., Monsberger G., Domej E., Povoden E., Schafflechner J., Leber T., Ofner P., Wilflingseder P., Rabitsch R., Koch U., Bjerg E., Gregori D.A., Lira R. & Martino R.: Geologie-, Petrologie- und Lagerstätten-Exkursion nach Zentral-Argentinien S. 49

## Diplomarbeiten und Dissertationen von österreichischen Universitäten (Auszüge)

- Aboughalma H.: Geochemical studies on soil profiles, ground water and their environmental impacts around the industrial area of Kafr Elzayaat, Nile Delta, Egypt S. 85
- Bekele M. M.: Geological and geochemical conditions for the occurrence of gold in Dul Area, Western Ethiopia S. 87
- Debele D.: Geology, geochemistry and genesis of gold mineralization of the Okata area, southern Ethiopia S. 89
- Engler A.: Petrologische und geochemische Untersuchungen an Charnockiten und deren Begleitserien im Süden von Minas Gerais, Brasilien S. 91
- Gobena H.: Petrology, geochemistry and geochronology of volcanic rock suites of the Dodola area, southeastern Ethiopia S. 94
- Kebede T.: Geochemistry, petrogenesis, U/Pb- and Pb/Pb zircon ages of granitoid rocks from Wallagga area, western Ethiopia S. 96
- Krumpel G.: Petrologische und geochemische Untersuchungen an miozänen Vulkaniten des Steirischen Beckens S. 98
- Scheikl M.: Experimente zum Einfluss von Mischfluiden (Na<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O) auf die obere Druckstabilität von Mg- und Fe-Cordierit S. 101
- Schroffenegger V.: Examinations of the availability of subsoil water in central Burgenland (District of Oberpullendorf) under special consideration of renewal, dynamics and quality of waters and including the surveillance of existing protected and preserved areas "Exploitable subsoil aquiferous sediments in central Burgenland" S. 102
- Tsige L.: Geology, metamorphism and gold mineralization of the Kenticha-Katawicha Area, Adola Belt, southern Ethiopia S. 104

- Vereinsnachrichten S. 105

- Autorenhinweise S. 113

**MINWIEN 1999**

**28. AUGUST BIS 1. SEPTEMBER 1999**

**WIEN**

**NACHTRAG**



## Arsenpolybasit und Stephanit vom Silberberg bei Brixlegg, Tirol

Arlt, T.\* & Martinek, K.-P.\*\*

\* Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth, 95440 Bayreuth;

\*\* Guglöd 55, 94568 St. Oswald

Die Auswertung historischer Berichte über das Bergbauegebiet Silberberg-Geyer bei Brixlegg ergab Hinweise auf eine reiche Silbervererzung, die in neueren lagerstätten-kundlichen Arbeiten nicht erwähnt wird. Daraufhin durchgeführte Untersuchungen erbrachten den Nachweis einer Silbermineralparagenese aus ged. Silber, Akanthit, Proustit und Polybasit in triadischem Dolomit [1].

Weitere Messungen an Erzproben aus diesem Bergbauegebiet mit der Mikrosonde (Cameca SX50) lieferten den Nachweis von Arsenpolybasit neben Polybasit.

Nach heutigem Wissensstand lassen sich die beiden Mischreihen Arsenpolybasit-Polybasit und Pearceit-Antimonpearceit anhand ihrer Zellparameter [2] und ihres Kupfergehaltes [3] unterscheiden.

Die Bestimmung der Zellparameter am Einkristallröntgendiffraktometer ergab beim untersuchten Arsenpolybasit eine Verdoppelung der a- und b-Achse gegenüber Pearceit (a = 26.0 Å, b = 15.0 Å, c = 12.3 Å, β = 90.1°). Weiterhin zeigen die Analysen die Abwesenheit von Kupfer (Tab.).

Als neues Mineral in der Paragenese konnte außerdem Stephanit nachgewiesen werden. Im Erzmikroskop erscheint Stephanit cremefarben als Relikt in hellgrauem Arsenpolybasit und stellt damit die älteste Phase dieser Paragenese dar.

Für Österreich ist Arsenpolybasit eine Neubeschreibung. Stephanit ist bisher nur aus der Lagerstätte Rotgülden (Salzburg) bekannt.

Tabelle: Mikrosondenanalysen (Gew.%) der Silberparagenese vom Silberberg.

	Ag	Cu	Sb	As	S	Total
Arsenpolybasit	78.7	0.0	3.4	4.2	14.1	100.4
Polybasit	77.7	0.0	6.6	2.4	14.4	101.1
Stephanit	70.3	0.0	15.6	0.1	15.6	101.6
Proustit	63.6	0.0	10.3	8.1	17.7	99.7

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden auch Galenite von den Lokalitäten Silberberg ("Fuchsloch"), Bleiroan, Alte Zeche, Hötting und Obenberg analysiert. Keine der Proben zeigte Silbergehalte über der Nachweisgrenze der Mikrosonde (0.15 Gew.%).



Silbererzparagenese vom Silberberg in Tirol.

Auflicht, Bildbreite 0.17 x 0.25 mm.

### Literatur:

- [1] Martinek, K.-P. (1994): Der Schatz im Silberberg. Geschichte und Vererzung der Bergbaue Silberberg-Geyer in Tirol. - Mineralienmagazin Lapis, 19, 7/8: 70-73.
- [2] Frondel, C. (1963): Isodimorphism of the polybasite and pearceite series. - Am. Mineral. 48: 565-572.
- [3] Hall, H.T. (1967): The pearceite and polybasite series. - Am. Mineral, 52: 1311-1321.

## Ist Calcit ferroelastisch ?

Bueble, S & Schmahl, W.W

Institut für Mineralogie, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Germany

Wir vergleichen die druckinduzierte Verzwilligung von Calcit mit ferroelastischem Verhalten und setzen eine virtuelle kubische m3m Prototyp-Phase voraus. Anhand dieses kubischen Bezugssystems werden alle Deformations-tensoren berechnet (Tabelle 1). Die kristallographischen Orientierungen der Zwillingwände werden dann aus der Gleichung

$$\sum_j (E_{j,1} - E_{j,2}) x_j = 0$$

nach Sapriel [1] erhalten. Die Lösungen dieser Gleichung entsprechen {100}- und {110}-Flächen, bezogen auf die morphologische Zelle von Calcit, welche dem Spaltrhomboeder entspricht (Tabelle 2). Die berechneten Zwillingswände entsprechen den bekannten r- bzw. e-Gesetzen der mechanischen Zwillinge in Calcit.

Domain state	I	II	III	IV
Compressional Axis	[1 1 1]	[1 1 1]	[1 1 1]	[1 1 1]
Strain tensor	$\begin{pmatrix} 0 & \bar{e} & \bar{e} \\ \bar{e} & 0 & \bar{e} \\ \bar{e} & \bar{e} & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & e & \bar{e} \\ e & 0 & e \\ \bar{e} & e & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & e & e \\ e & 0 & \bar{e} \\ e & \bar{e} & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & \bar{e} & e \\ \bar{e} & 0 & e \\ e & e & 0 \end{pmatrix}$

Tabelle 1: Deformations-Tensoren für die Übergänge vom kubischen zum rhomboedrischen Kristallgitter mit der entsprechenden Kompressions-Achse.

	I	II	III	IV
I		(010)	(100)	(001)
II	(101)		(001)	(100)
III	(011)	(10̄0)		(010)
IV	(110)	(01̄0)	(10̄0)	

Tabelle 2: Zwillingwände zwischen jeweils einem Paar von Deformations-Zuständen I-IV aus Tabelle 1. Als Lösungen der obigen Gleichung schließen sich die beiden unterschiedlichen Orientierungen gegenseitig aus.

### Literature:

- [1] Sapriel, J. (1975): Domain-wall orientations in ferroelastics. Phys. Rev. B12, 5128-5140.

## Electrokinetic remediation of heavy metal contaminated organic rich sediments from the river Weiße Elster

Czegka, W.<sup>1</sup>, Preiß, S.<sup>1,2</sup> & Dulski, P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GeoForschungsZentrum, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam (czegka@.....,dulski@gfz-potsdam.de)

<sup>2</sup>Kiefernring 41, D-14478 Potsdam (Stefan.Preisz@munr-lua-p-b.brandenburg.de)

Recently electrochemical methods of in-situ soil and sediment remediation are attracting increasing interest. The success of electrokinetic remediation has been shown by [1] and others in laboratory scale. This method is applicable to heavy-metal contaminated, fine-grained, organic rich soils and sediments that can hardly be remediated by the commonly applied processes. Various numeric models are available [2] to simulate the remediation process. The technical application has several disadvantages: high energy consumption, corrosion of the anodes and precipitation of heavy metal hydroxides in vicinity of the cathode.

The main processes of electrokinetic remediation are ion migration and electroosmosis. There is a maximum of electroosmotic flow in alkaline solutions. Unfortunately the most of heavy metals are not mobile in this pH-range. Therefore, the process has to be performed at an optimized pH. The pH influences the following parameters: zetapotential, electrical conductivity, surface conductivities and the ratio of ionic to solid species of the heavy metals. If the pH range is low the energy consumption is too high, caused by high mobility of hydrogen ions. At low pH range the ions are forming a complex which then moves to the anode instead of the cathode.

Our solution is the determination of electrokinetic parameters, calculation of the optimum pH and processing using this pH which is controlled by a circulation system at the electrodes.

### Literature:

[1] Hamed, J., Acar, Y.B. & Gale, R. (1991): J. Geotech. Eng., 117, 241-271.

[2] Choi, Y.S. & Lui, R. (1995): J. Haz. Mat., 44, 61-75.

## 30 years of Rietveld analysis: the next generation

Kern, A. & Coelho, A.

Bruker-AXS GmbH, Östliche Rheinbrückenstr. 50, D-76187 Karlsruhe

X-ray diffraction line profile fitting approaches, from single line fitting up to whole powder pattern fitting, with or without reference to a structural model, have been widely recognised to be the most important evaluation methods for material characterisation. In particular, the Rietveld structure refinement method has turned out to be uniquely valuable for (micro)structural analysis of nearly all classes of crystalline materials. Nevertheless, in spite of many exciting developments in the past 10 years, all recent profile-fitting approaches suffer severely from a number of disadvantages. Most of these fall into one of the following categories:

- poor modelling of all of the various contributions to the powder diffraction pattern. This is particularly true for the main objectives: Bragg peaks

- poor numerical stability as well as extended evaluation times due to poor calculation speed and unavoidable parameter turn-on sequences.

With a new program system (TOPAS) these problems have been successfully overcome. TOPAS is built around a general non-linear least squares system written specifically to integrate various types of X-ray diffraction analyses. This includes the ability to refine laboratory/synchrotron/neutron powder diffraction and single crystal data simultaneously. Depend on the refinement model supplied, with TOPAS individual line fitting, whole powder pattern fitting, whole powder pattern decomposition (Pawley method as well as LeBail method), up to Rietveld refinement can be performed. Remarkable is the ability to generate physically meaningful peak shapes using a new fundamental parameters approach with all parameters refinable [1,2]. There are various minimization routines including the Marquardt method of refinement plus line minimization and parameter extrapolation techniques. Sparse matrix methods are used when refining thousands of parameters e.g. for lattice parameter refinement or when extracting integrated intensities. A very powerful feature of TOPAS is the ability to solve structures by simulated annealing together with user defined penalty functions, rigid bodies and lattice energy minimization techniques including user defined force fields/equations. Rigid bodies take into account space group symmetry. They can be linked and rotated about any user-defined axes and hinges. The numerical speed of TOPAS is an order of magnitude faster than that of existing Rietveld programs. As in addition no more parameter turn-on sequence is needed Rietveld refinements can be performed up to 100 times faster!

### References:

[1] Cheary, R.W. & Coelho, A.A. (1992): J. Apl. Cryst., 25, 109-121.

[2] Kern, A.A. & Coelho, A.A. (1998): "Powder Diffraction", Allied Publishers Limited, ISBN 81-7023-881-1, 144-151.

## **Feldspathoid mineral paragenesis in basalt of Badacsony-tördemic (Balaton Highland, Hungary)**

**Kitley, G. & Lovas, G.**

Department of Mineralogy, Eötvös L. University,  
H-1088 Budapest, Múzeum körút 4/A.

On the surface of fissures in basalt of Badacsony-tördemic an interesting, white-gray coloured cover is to be found, which was described in details in 1948. Based on optical and chemical studies the paragenesis consisted of leucite, sanidine, nepheline and analcime as main mineral phases [1].

Our current goal was to strengthen the original description by applying up-to-date methods (TEM, XPD, EPMA), and searching the formation for additional phases. We used the original samples of Prof. Mauritz, which have been stored for documentation in the Mineral and Rock Collection of the Eötvös L. University.

XPD and TEM SAED proved the presence of leucite, K-feldspar, nepheline and analcime.

Polarized light microscopy and EPMA supported the previous results in case of leucite, analcime and K-feldspars, showed sodalite as a new phase in the paragenesis, but gave unclear results in case of nepheline. Crystals said to be nepheline by optical microscope showed high (7 wt.%) Cl content. The only Cl containing mineral that looks like nepheline in microscope is the rare davyne, but this phase could not be identified by XPD. Separation problems hinder the preparation of pure single crystals of that ambiguous phase.

### **Literature:**

[1] Mauritz, Béla (1948): Die Petrologischen Verhältnisse der Transdanubischen Basaltgesteine. – Földtani Közlemény, 78: 134-169. (in Hungarian with German abstract)

## **Felsche Zusammensetzung kontinentaler Kruste als Produkt kontinuierlicher Delamination mafischer Unterkruste**

**Mengel K.\* & Wittenberg A.\*\***

\*TU Clausthal, D-38678 Clausthal-Zellerfeld

\*\*Universität Hannover, D-30167 Hannover

Der refraktionsseismisch erkennbare Anteil mafischer Unterkruste (MLC) im EGT-Mittelabschnitt beträgt ca. 18 %. Die geochemischen Daten von 206 MLC Proben des Varisikums (Wittenberg et al. 1999) belegen (restitische) Meta-Basalte und Meta-Kumulate als Edukte. Letztere sind entweder Px- oder Plag-dominiert. Die gewichtete Gesamtzusammensetzung dieser MLC hat 48.0 Gew.-% SiO<sub>2</sub>, Mg-# 65, 379 ppm Cr, 146 ppm Ni, La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> 2.2, Eu/Eu\* 1.1. Eine Massenbilanz mit den übrigen, felsischen Einheiten der varisischen Kruste ergibt eine tonalitische Gesamtzusammensetzung (Wedepohl, 1995). Die Bildung neuer kontinentaler Kruste erfolgt jedoch über die Intrusion mafischer Magmen aus dem Erdmantel. Als Magmen-Typen kommen Tholeiite bis basaltische Andesite (54.7 Gew.-% SiO<sub>2</sub>, Mg-# 63, Eu/Eu\* 1.0) und nicht Andesite in Betracht, da letztere nicht mit Mantel-Peridotiten (Ol<sub>F0.90</sub>) äquilibrium sind. Unter der konservativen Annahme, daß die im wesentlichen post-archaische Gesamt-Kruste des Varisikums aus basaltischen Andesiten hervorgegangen ist, lassen sich über die Verteilung der chemischen Hauptkomponenten die Verhältnisse felsischer Kruste gegenüber mafischer Unterkruste als ca. 37:63 (Vol.-%) berechnen. Diese Mengenverhältnisse führen bei den Spurenelementen u.a. zur Abwesenheit einer Eu-Anomalie.

Da die heutige Gesamt-Kruste jedoch tonalitisch ausgebildet ist, müssen erhebliche Mengen (35 bis 60 km Mächtigkeit) MLC fehlen. Mafische Edukte der Krustenwurzeln können unter P-T-Bedingungen von Kollisionsorogenen zu Eklogiten reagieren. Da deren Dichte größer ist als die von Mantel-Peridotiten, können mafische Krustenwurzeln unter geeigneten mechanischen Bedingungen in den Erdmantel verfrachtet (delaminiert) werden. Eklogit-fazielle Gesteine ehemaliger MLC (einschließlich Plag- oder Px-dominierten Edukte) sind als Xenolithe zu beobachten.

### **Literatur:**

Wedepohl K.H. (1995): Geochim. Cosmoch. Acta 59, 1217.  
Wittenberg A., Vellmer C., Kern H. & Mengel K. (1999): Geol. Soc. London, Spec Publ, submitted.

## **AMPH-IMA97 - A Hypercard program for amphibole classification and nomenclature based on the 1997 International Mineralogical Association Scheme**

**Mogessie, A.\*, Ettinger, K.\*, Leake, B.E.\*\* & Tessadri, R.\*\*\***

\* Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie, Universität Graz, Universitätsplatz 2, 8010 Graz

\*\* Department of Earth Sciences, Cardiff University. P.O.Box 914, Cardiff, CF1 3YE, UK

\*\*\* Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck

The IMA 78 amphibole nomenclature scheme [1] was computerized and shown on a classification chart [2]. Recently the IMA recommended a revised amphibole scheme [3] making it necessary to amend the EMP-AMPH program to the new rules. The AMPH-IMA97 program allows single input or automatic input of as many amphibole analyses as are available following a set input format. There are three options for dealing with each amphibole analysis: 1) wet chemical analyses can be calculated to 24(O,OH,F,Cl); 2) analyses with determined FeO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> but without H<sub>2</sub>O can be calculated to 23(O) and 3) electron microprobe analyses calculated to 23(O) with IMA 97-recommended normalisation for Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> values. Deer, Howie and Zussman's listing of over 500 analyses [4] have been typed into an Excel sheet, automatically imported and calculated by the three above options, in order to test the program. The first comprehensive test of the third option shows it to be very successful for estimating Fe<sup>2+</sup> ( $R^2 = 0.88$ ) but less successful for Fe<sup>3+</sup> ( $R^2 = 0.42$ ). Problems in the normalisation of electron microprobe analyses of sodic amphiboles for Mn<sup>2+</sup> - Mn<sup>3+</sup> and Fe<sup>2+</sup> - Fe<sup>3+</sup> emerged and because Mn<sup>3+</sup> is a classifying parameter, the program has been modified for sodic amphiboles. The program is accompanied by a new coloured amphibole classification chart.

### Literature:

- [1] Leake, B. E. (1978): Nomenclature of amphiboles, *Mineral. Mag.* 42: 533 - 563.
- [2] Mogessie, A., Tessadri, R. & Veltman, C. B. (1990): EMP-AMPH - A Hypercard program to determine the name of an amphibole from electron microprobe analysis according to the International Mineralogical Association Scheme. *Computers & Geosciences*, 16: 309-330.
- [3] Leake et al. (1997): Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineral. Mag.* 61: 295-321.
- [4] Deer, W.A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1997): Double chain silicates. *The Geological Society, London*. 2B: 1-764.

## **Mineralogical aspects concerning the improvement of the critical current density of Ag-clad BPSCCO high T<sub>c</sub> superconducting multifilamentary tapes**

**Neubauer, J., Risch, A. & Göbbels, M.**

Institut für Geologie und Mineralogie, Lehrstuhl für Mineralogie, Schloßgarten 5a, 91054 Erlangen  
neubauer@geol.uni-erlangen.de

Industrial applications of the high T<sub>c</sub> superconductors discovered since 1986 [1] have emphasized the importance of the Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O system. Precursors with a chemical composition within this system, containing mainly Bi(Pb)-2212 and additional phases, are used to produce highly pure Bi(Pb)-2223 multifilamentary tapes by the powder-in-tube (PIT) technique [2]. Phase assemblage and microstructure in such superconducting tapes are responsible – among others – for the critical current density J<sub>c</sub>. But there is still a lack of suitable characterization tools for these attributes.

X-ray diffraction analysis combined with Rietveld refinement [3] was applied to fully processed Bi(Pb)-2223 multifilamentary tapes for quality control purposes. Rietveld refinement offers new possibilities for accurate quantitative phase analysis, description of preferred orientation and determination of crystallite size by X-ray powder diffraction within a few minutes.

Phase content of the Bi(Pb)-2223 and additional phases in fully processed tapes was investigated in dependence of various sintering times, temperatures and oxygen partial pressures. Additionally the degree of texture of the Bi(Pb)-2223 phase was evaluated by calculating the Lodgering factor with all observed intensities determined by Rietveld refinement. Influence of the crystallite size on the superconducting properties can be extracted from FWHM parameter.

### Literature:

- [1] Bednorz, J.G. & Müller, K.A. (1986): Possible High T<sub>c</sub> superconductivity in the Ba-Cu-O system. - *Z. Phys. B - Condensed Matter*, 64, 189-193.
- [2] Sandhage, K.H. Riley, G.N. & Carter, W. (1991): Critical Issues in the OPIT Processing of High J<sub>c</sub> BSCCO Superconductors. - *J. Metals*, 43, 21.
- [3] Rietveld, H.M. (1969): A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. - *J. Appl. Cryst.*, 2, 65.

## **Sinterversuche an Müllverbrennungsschlacken und an Gemischen aus Ofenschlacken und industriellen Nebenprodukten**

**G. Pfrang-Stotz<sup>1</sup> and J. Reichelt<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Forschungszentrum Karlsruhe (ITC/TAB), Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

<sup>2</sup> Universität Karlsruhe (ISE), Postfach 3640, 76128 Karlsruhe

Höhere Anteile mechanisch stabiler Silikate führen in der Regel zu einer verbesserten Elutionsstabilität und zu besseren bautechnischen Eigenschaften der MV-Schlacken. Außerdem können durch eine Erhöhung des Versinterungsgrades innerhalb der Schlackematrix eine Stützkornstruktur aufgebaut und eine Reduktion des Porenvolumens der Schlackekomponenten erreicht werden.

Die Sinterversuche an Ofenschlacken erlauben eine Charakterisierung der mineralogisch-chemischen Prozesse, die im Verbrennungsraum die Bildung von MV-Schlacken auf dem Verbrennungsrost steuern, sowie eine Darstellung der geänderten mineralogischen Zusammensetzung von MV-Schlacken, die sich durch die verstärkte Produktion von silikatischen Mineralphasen im Mineralbestand von MV-Schlacken durch die Zudosierung industrieller Nebenprodukte während des Sinterprozesses ergeben. Sinterversuche an Ofenschlacken zeigen, daß mit steigender Sintertertemperatur, insbesondere bei 1.000°C, der Anteil der stabilen Silikate im Mineralbestand der MV-Schlacken zunimmt und dadurch bessere bautechnische Eigenschaften erreicht werden können.

Geringe Zugaben von Steinkohlenflugasche zu der Ofenschlacke während des Sinterprozesses erhöhen in erster Linie den silikatischen Feinanteil von MV-Schlacken. Da dieser im Falle von Steinkohlenflugasche puzzolanische Eigenschaften besitzt, kann durch die Zugabe von Steinkohlenflugasche das Alterationsverhalten (Ablagerungszeit, verstärkter Einbau von Schwermetallen) der MV-Schlacken verkürzt und das Verfestigungsverhalten der MV-Schlacken, z.B. durch die Bildung von CSH-Phasen, positiv beeinflusst werden.

Die Zugaben von Schmelzkammergranulat und Kesselsand zu der Ofenschlacke während des Sinterprozesses beeinflussen den Mineralbestand der Ofenschlacke positiv, indem es zu einer verstärkten Bildung von Silikaten kommt.

## **Mineralogical-petrographical methods as a tool for culture historical investigations and conservation of monuments - Schloß Tirol**

**Recheis, A., Bidner, Th. & Mirwald, P.W.**

Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck

Schloß Tirol above Meran/South Tyrol may be considered a key construction for the regional history since early medieval times. From this point of view an interdisciplinary research project has been started aiming at an elucidation of building history of the castle as well as finding a concept for its future use as a regional museum.

The task of the earth sciences in this project is:

- Mapping of the building materials (stone inventory, bricks, mortars etc.) for distinguishing the different periods of construction and reconstruction respectively.

- Studying of the two marble portals of outstanding historical importance with respect to the provenance of the material, the attribution to the regional stonemason-workshops and lastly their weathering state.

- Evaluation of the preservation states of the different building materials in order to predict the future progress of damages and to develop appropriate conservation strategies.

- An important safety aspect for the castle are the conditions of its underground, which consists largely of quaternary materials. The considerable erosivity of this material is documented by a partly collapse of the northeastern part of the castle in the 16<sup>th</sup> century.

Within that scope two objective of particular importance had to be addressed:

### i) The marble portals (11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> century)

A detailed mapping has been performed in combination with an ultrasonic study of the material. The work reveals that possibly not all parts of the portals do come from one quarry source and may be of different quarrying age. This seems to agree with stylistic analyses (different stonemason workshops, reworking of spolic materials [1]) A detailed multi-methodical analysis, such as catho-deluminescence, trace elements, grain size distribution, isotopes etc. [2] on a few small drill cores of the valuable material is on the way.

### ii) The underground problem

The mapping of the subsoil revealed that the castle is built on a complex glacial series of moraine and sub- to periglacial sediments of different consistency. Surficial creeping/sliding phenomena on the NE-flank of the castle's mound suggest the necessity of a soil mechanical study.

### References:

[1] Seebach, G. (1995): Die romanischen Portale auf Burg Tirol - Eine bauhistorische Untersuchung. "Eines Fürsten Traum" - Katalog zur Tiroler Landesausstellung 1995, p. 79-93.

[2] Herz, N. & Waelkens, M. (1988): Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade. Series E: Applied Sciences - Vol. 153.

## Flugaschen als Einsatzstoff für bautechnische Zwecke

Sonn, E.A.

Universität Wien, Institut für Petrologie, UZAI, Althahnstraße 14; A-1090 Wien

Der Nutzung von Flugaschen als Rohstoff wird derzeit besondere Bedeutung zugemessen; nicht nur aus rein wissenschaftlichen, sondern auch aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen. Eine industrielle Verwertung der Aschen ist jedoch im Hinblick auf massive Verschiedenartigkeiten von material-spezifischen chemisch/mineralogischen Reaktionsabläufen bei Abbindungsprozessen äußerst problematisch. Deshalb ist es eine Herausforderung, solche Vorgänge zu prüfen und bezüglich einer technischen Nutzung an ausgewählten Beispielen zu studieren.

Die gegenständliche Arbeit beinhaltet die detaillierte Untersuchung von Verwertungsmöglichkeiten von zwei Aschetypen, einer Restverbrennungsasche (RVA) in Verbindung mit einer Wirbelschichtfeuerungsasche (WSF), insbesondere im Hinblick auf innerbetrieblichen Straßenbau. Schwerpunkte dieses Projektes sind Geländearbeit (Testfeld) in Verbindung mit Labortätigkeit, wobei Prüfungen der physikalischen Eigenschaften (Druckfestigkeit, Tragfähigkeitsverhalten, Durchlässigkeit und Frostverhalten) und Untersuchungen der Umweltverträglichkeit (Elutionsanalytik) im Vordergrund des Interesses standen.

Eine sichere Beurteilung der Aschemischung kann nach den vorliegenden Ergebnissen hinsichtlich umweltrelevantem Auslaugverhalten aufgrund u. a. hoher Sulfatausträge nicht gegeben werden. Grund für die großen Schwankungsbreiten der Resultate liefert die RVA-Asche mit ihren stark heterogenen Ausgangsschemismen, die mit abweichenden Verbrennungsbedingungen und variierenden Brennzusätzen in Verbindung gebracht werden kann.

Günstig hingegen sind die Werte einzustufen, die im Zuge der straßenbautechnischen Prüfungen ermittelt werden konnten.

## Interpretation der Mößbauer- und IR-Spektren von synthetischem Fe-Turmalin

Velickov, B. & Abs-Wurmbach, I.

Institut für Angewandte Geowissenschaften I, TU-Berlin, Ernst-Reuter-Platz 1, D-10587 Berlin

Email: veirdh@mailszr.zrz.tu-berlin.de

Noch heute werden die Platzbesetzungen durch Fe in Turmalinen  $\{XY_3Z_6[SiO_{18}(BO_3)_3(OH)_4]\}$  auf den zwei möglichen Oktaederpositionen Y und Z kontrovers diskutiert. Allgemein wurde bisher anhand der Interpretation von Mößbauerspektren angenommen, daß sich Fe überwiegend auf Y befindet, aber zum Teil auch die Z-Position besetzt [1]. Demgegenüber steht ein neueres Modell [2], wonach Fe ausschließlich die Y-Position besetzt.

Um zur Klärung dieses Problems beizutragen, wurde ein im Vergleich zu natürlichen Turmalinen chemisch einfach zusammengesetzter synthetischer Foitit [3] (ideale chemische Formel:  $\square(Fe_2Al) Al_6[Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4]$ ) mit Hilfe einer Strukturverfeinerung [4], als auch mit der IR- und Mößbauer-spektroskopie untersucht.

Die wichtigsten Informationen der einzelnen Methoden sind hier zusammengefaßt:

(1) Strukturverfeinerung: Fe befindet sich nur auf der Y-Position [4]; (2) Das IR-Spektrum läßt sich nur unter der Annahme interpretieren, daß die Kristallstruktur des Foitits aus "Clustern" aufgebaut ist, die aus verschiedene Kationen-Anordnungen um die O(1)-H-Gruppe abzuleiten sind. Das  $Fe^{2+}$  befindet sich dabei auf Y in den drei folgenden Konfigurationen um O(1)-H: FeFeFe, FeFeAl, FeAlAl auf Y. (3) Die Mößbauer-Spektroskopie dieses Foitits zeigt nur zweiwertiges Eisen, welches sich auf mindestens drei verschiedenen Subplätzen befindet (drei  $Fe^{2+}$ -Dubletts; s. Tab.1).

Diese Ergebnisse lassen nur einen Schluß zu: Drei verschiedene Umgebungen für das  $Fe^{2+}$ , auf die aus den Mößbauer-Spektren geschlossen wird, beruhen nur auf den in dem IR-Spektrum beobachteten verschiedenen Fe,Al-Konfigurationen um O(1)-H. Somit bestätigen wir das Modell nach [2].

Über Bindungswalenzbetrachtungen konnte abgeleitet werden, daß das Y-Oktaeder um so mehr entlang der O(1)H-O(3)H-Verbindungsline in den einzelnen Clustern gestreckt wird, je mehr YAl-Nachbarn das  $Fe^{2+}$  umgeben. Mit dieser Elongation des Y-Oktaeders sollte auch der elektrische Feldgradient, der für die Quadrupolaufspaltung verantwortlich ist, einhergehen und erklärt somit die sich aus den Mößbauerspektren ergebenden drei Umgebungen für das Eisen auf der Y-Position (siehe Tab.1).

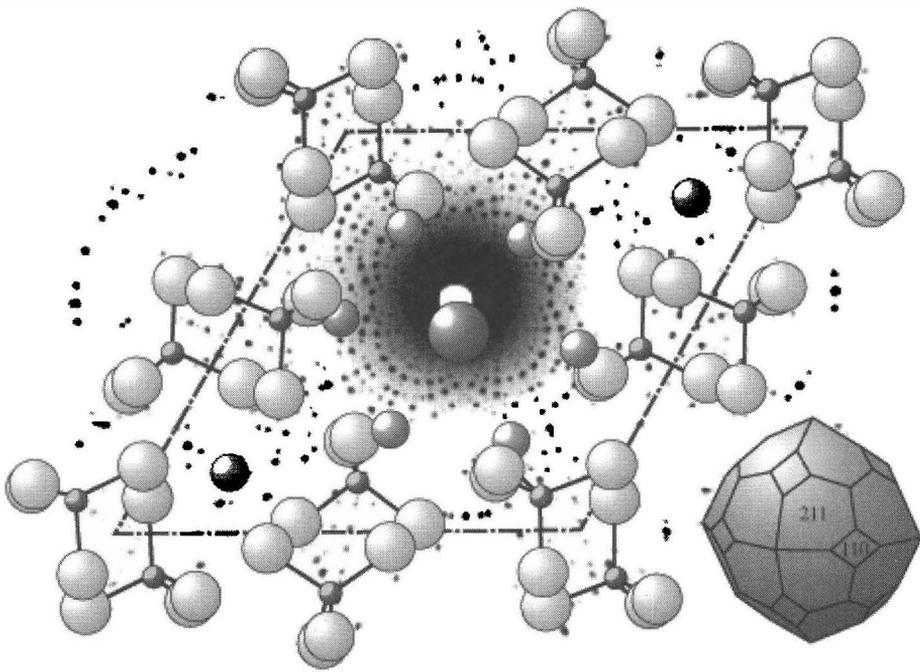
	IS [mm/s]	QS [mm/s]	HW [mm/s]	"Cluster"
$Fe^{2+}(Y1)$	1.09(1)	2.42(2)	0.27(1)	$Fe^{2+}IO_4(OH)_2 Fe^{2+}Fe^{2+}$
$Fe^{2+}(Y2)$	1.07(2)	2.09(5)	0.32(4)	$Fe^{2+}IO_4(OH)_2 Fe^{2+}Al$
$Fe^{2+}(Y3)$	1.05(2)	1.48(5)	0.48(5)	$Fe^{2+}IO_4(OH)_2 AlAl$

Tab.1: Mößbauer Parameter des synthetischen Foitits (gegen  $Fe^0$  kalibriert)

### Literatur:

- [1] Fuchs et al. (1998): Am.Min. 83, 525-534.
- [2] Piezka et al. (1997): Abstract volume zum "Tourmaline '97"-symposium, Czech Republik, S. 74-75.
- [3] Velickov et al. (1998): Terra Nova abstr. 10, 63.
- [4] Kahlenberg et al. (1999): Z. Krist. supplement No.16.

# ORIGINALARBEITEN



**HANS J. (RITTER VON) KARABACEK**  
**(\* 5.3.1878 † 9.6.1963)**  
**EIN SPÄTER NACHRUF**

von

**Gerhard Niedermayr<sup>1</sup> & Franz Pertlik<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Naturhistorisches Museum Wien  
Mineralogisch-Petrographische Abteilung, Burgring 7, A-1014 Wien  
<sup>2</sup> Institut für Mineralogie und Kristallographie  
Universität Wien, Geozentrum, Althanstrasse 14, A-1090 Wien

### **Allgemeines**

Die Mineraliensammlung der Harvard-Universität, Cambridge (Massachusetts, USA), ist eine der bedeutendsten Sammlungen ihrer Art in Amerika. Heute besitzt diese Universität mehr als 100.000 Mineralstufen und mehr als 500.000 Gesteins- und Erzproben (WILKE, 1986).

Es handelt sich nicht um eine Schau in hypermodernen Kästen mit speziellen Lichteffekten, sondern um eine gediegene, in erster Linie als Arbeitssammlung ausgerichtete systematische Zusammenstellung, präsentiert in soliden Wandschränken und Pultvitrinen im Stil der Sammlungen der Jahrhundertwende. Die Sammlung steht nicht nur den Studenten der Universität zur Verfügung, sondern ist auch für Besucher zugänglich, die davon intensiven Gebrauch machen. Bei aufmerksamer Betrachtung der Schausammlung entdeckt man immer wieder Stücke, die ursprünglich zum Bestand bedeutender Privatsammlungen gehörten, die Harvard im Laufe der Zeit erwerben konnte. Eine dieser privaten Sammlungen ist die "Collection Karabacek", welche mit qualitativ hervorragenden Stücken in der Schausammlung präsent ist. Den wenigsten Besuchern von Harvard, auch solchen aus Europa, wird der Name Karabacek geläufig sein. Trotzdem zählte dieser bedeutende österreichische Privatmann zu den herausragenden Sammlerpersönlichkeiten seiner Zeit.

### **Lebenslauf**

Hans J. (Ritter von) Karabacek wurde am 5.3.1878 in Wien geboren. Sein Vater, Dr. Josef Ritter von Karabacek (\* 20.9.1845 in Graz, † 9.10.1918 in Wien), war Universitätsprofessor für Orientalistik, wirkliches Mitglied und Sekretär der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Im Jahre 1899 wurde er zum Direktor der Hofbibliothek bestellt und war außerdem am Museum für angewandte Kunst in Wien tätig.

Hans J. Karabacek absolvierte in Wien die Mittelschule und studierte anschließend an der k.k. Technischen Hochschule in Wien Maschinenbau. Nach Erlangung des Ingenieurdiploms im Jahre 1904 trat Karabacek in die Dienste der Witkowitz Bergbau- und Eisenhüttengewerkschaft in Mähren. Er arbeitete dort bis Mitte des Jahres 1912 und konnte in dieser Zeit auch eine Dissertation verfassen, durch die er 1910 das Doktorat der Technischen Wissenschaften erhielt. Bis Anfang des Jahres 1915 war er als Betriebschef der Daimler Motoren AG in Wiener Neustadt tätig. Anschließend wurde er zum Direktor der Skoda-Werke (vormals Graf Waldsteinsche Maschinenfabrik, seit 1899 Aktiengesellschaft) in Pilsen bestellt und übte diese Funktion bis Ende 1918 aus. Dieser Betrieb war zur damaligen Zeit einer der wichtigsten Rüstungsbetriebe der Österreichisch-Ungarischen Monarchie. Unter der umsichtigen Leitung Karabaceks, dem die gesamte Geschützproduktion unterstellt war, wurde der Betrieb rationali-



*Dr. Ing. Hans J. Karabacek*

*Foto nach einem Ölgemälde, um 1920 (Privatbesitz).*

siert und konnte dadurch seine Produktion vervielfachen. Ein Erfolg, der Karabacek im Ersten Weltkrieg die besondere Anerkennung des Kriegsministeriums und des Armeeoberkommandos eintrug (KLANG, 1936). Dieser Umstand wäre Karabacek später beinahe zum Verhängnis geworden. Er wurde nach dem Zusammenbruch der Österreichisch-Ungarischen Monarchie von tschechischen Truppen verhaftet und kam in das Gefängnis in Pilsen. Seine Mineraliensammlung wurde beschlagnahmt. Karabacek war allerdings bei den Arbeitern der Skoda-Werke sehr beliebt und wurde von einigen seiner ehemaligen Mitarbeiter aus dem Gefängnis befreit. Im Laufe der Zwanzigerjahre erhielt er vom tschechischen Staat auch seine Sammlung wieder zurückgestellt (Marietta WITT-DÖRING, 2000).

Von 1919 bis Anfang des Jahres 1920 war Karabacek leitender Direktor der von ihm gegründeten Werkzeugmaschinenfabrik "Wemag". Danach wurde er zum Zentraldirektor der Steyr-Werke A.G. und deren Konzern-Unternehmungen berufen. Er war unter anderem im Verwaltungsrat der Steirischen Gußstahlwerke AG, der Werkzeug- und Metallbearbeitungs AG. "Kromag", der Gebrüder Lapp AG. in Rottenmann sowie der Skandinavischen Waffen- und Munitions AG. in Kopenhagen tätig. Ab 1930 war er außer Dienst gestellt und betätigte sich ab diesem Zeitpunkt als behördlich autorisierter Ingenieurkonsulent.

### **Mineralogische Tätigkeit**

Bereits mit 9 Jahren interessierte sich Karabacek für Mineralien. Eine kleine Kasette mit verschiedenen Mineralstücken aus dieser Zeit ist noch heute im Besitz seiner Familie. Die entsprechenden Fundortzettel tragen u.a. die Handschriften der Kustoden der Mineraliensammlung des k.k. Naturhistorischen Hofmuseums, insbesondere der seinerzeitigen Kustoden und Direktoren Aristides Brezina und Friedrich Berwerth. Einige Stücke scheinen sich allerdings zu wesentlich späterer Zeit aus der Mineralienhandlung von Anton Berger in Mödling in diese Kasette verirrt zu haben.

Noch in seiner Zeit als Student war Karabacek Gründungsmitglied der Wiener Mineralogischen Gesellschaft und nahm an der konstituierenden Generalversammlung am 27. März 1901 teil. Noch vor Beendigung seines Studiums nahm er an den Vortragsabenden der Wiener Mineralogischen Gesellschaft regen Anteil. Er legte anlässlich der bei den Monatsversammlungen der Gesellschaft üblichen Ausstellungen am 6. April 1903 im Mineralogisch-Petrographischen Universitätsinstitut erstmals einen "hessonitartigen" Granat von der Scharn im Hollersbachtal (Salzburg) und Almandine mit der Form {211}, eingewachsen in Magnetkies, von Schneeberg (Tirol) vor.

Bei einer Demonstration über Apatit legte er am 9. November 1903 Fundstücke von Schlaggenwald (Böhmen), Zöptau (Mähren) und Werlen (St. Goar am Rhein) zur Ansicht vor, und es kann angenommen werden, daß seine Sammlung zu diesem Zeitpunkt bereits einen größeren Umfang hatte. An solchen einen Vortrag begleitenden Ausstellungen beteiligten sich zu dieser Zeit auch so bekannte Sammlerpersönlichkeiten und Mineralienhändler wie Ottokar Freiherr von Buschmann, Eduard Klepsch von Roden, Konrad Kürschner, Moriz [auch Moritz] Lechner, August Ritter von Loehr, Franz Perlep, Olivier Schwarz, Alois Sigmund und Isidor Weinberger.

Wie man einer Mitteilung der Wiener Mineralogischen Gesellschaft vom 7. November 1904 entnehmen kann, übersiedelte "Herr Ing. Hans Karabacek nach Mährisch-Ostrau". Er konnte sich aus diesem Grunde an Ausstellungen in Wien nicht mehr beteiligen, stand aber trotzdem weiterhin in Kontakt zur Wiener Mineralogischen Gesellschaft und zu den Kustoden am Hofmuseum. So berichtete KOEHLIN (1908) unter anderem bei der Beschreibung einer interessanten Manganvererzung aus dem Distrikt Miguel Burnier in Minas Gerais, Brasilien, über zusätzlich in diesen Paragenesen auftretende Mineralien (das Material stammte aus Erzen, die von den Eisenhüttenwerken in Witkowitz verarbeitet wurden):

*"A t o p i t in Drusen schöner, glänzender, meist 2-3 mm großer, dunkelhoniggelber Oktaeder auf mulmigem Erz. Ein Stück, das mir nicht vorlag, zeigt nach brieflicher Mitteilung des Herrn Ingenieurs Hans R. v. Karabacek in Witkowitz, in dessen Besitz es sich befindet, fünf weingelbe, glänzende Oktaeder mit 0.5 cm Kantenlänge."*

Karabacek war von 1921 bis 1938 im Vorstand der Wiener Mineralogischen Gesellschaft tätig, von 1921 bis 1926 übte er das Amt eines Kassiers aus, 1935 bis 1937 jenes eines Vizepräsidenten. Im Jahre 1939 wurde er aus der Gesellschaft, vermutlich wegen politischer Unzuverlässigkeit, ausgeschieden. Nach Ende des Zweiten Weltkrieges, zur Neueröffnungsversammlung am 11. November 1946, stellte er sich der Gesellschaft wieder zur Verfügung und war ab diesem Zeitpunkt, bis zu seinem Tod, im Vorstand tätig. Im Jahr des 50jährigen Gründungsjubiläums (1951) wurde ihm der Vorsitz übertragen und mit Beschluß der Hauptversammlung vom 10. Dezember 1951 seine jahrzehntelange Tätigkeit für die Gesellschaft mit der Ehrenmitgliedschaft honoriert. An dieser Stelle sei vermerkt, daß er auch der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft bereits in deren Gründungsjahr (1908) beigetreten ist.

Trotz seines großen Interesses für Mineralien scheint Karabacek größtenteils nicht selbst aktiv gesammelt zu haben, sondern wirkte in erster Linie als sogenannter "passiver" Sammler. Er erwarb seine Mineralien im wesentlichen durch Kauf oder Tausch. Auch die später in den Alpenbereich unternommenen Reisen, nun schon gemeinsam mit der Familie, mit seiner Frau Joe, die er 1919 ehelichte, und den Töchtern Christiana und Marietta, dienten nicht der Mineraliensuche, sondern in erster Linie der Erholung vom Alltagsstreß. (So erinnert sich seine jüngere Tochter, Frau Marietta Witt-Döring, heute nur an eine Reise zu den Granatvorkommen im Ötztal.)

In den Dreißigerjahren blickte Karabacek bereits auf eine 45jährige Sammeltätigkeit zurück, wie einer von ihm verfaßten Beschreibung seiner Sammlung zu entnehmen ist (KARABACEK, um 1930):

*"Die Stückzahl ist für die lange Sammeltätigkeit nicht gerade sehr gross, dieselbe beträgt 4892 Stücke. Die Sammlung konnte keinen größeren Umfang erreichen, da nur das Beste an Mineralien in die Sammlung aufgenommen wurde. Da das Alter fast auf ein halbes Jahrhundert zurückreicht, enthält diese einzig schöne Sammlung eine sehr große Anzahl von Mineralien, die aus längst erloschenen Funden stammen. Im Laufe der Zeit wurden immer die schönsten Stücke aus den alten bekannten Privatsammlungen, wie Sammlung Weinberger, Miller von Aichholz, Dr. Perlep, Kretschmer, Töply, Uslar, Frenzel, Beroldingen, Lill, Scherzer, Don Pedro etc. aufgenommen. Sogar drei Stücke aus der Sammlung des deutschen Dichters Wolfgang von Goethe befinden sich in dieser Sammlung. Diese Stücke wurden vom Sammler selbst aus der Goethe-Sammlung in Böhmen erworben, daher deren Herkunft einwandfrei! Auch ein Stück - Fluorit - aus der Kronprinz Rudolf Privatsammlung befindet sich in dieser Sammlung!"*

Besonders interessant in diesem Passus ist vor allem die Erwähnung der Übernahme wesentlicher Teile der Sammlung von Isidor Weinberger (\* 1838, † 1915), einem sehr bedeutenden Sammler und Mäzen um die Jahrhundertwende, sowohl noch zu dessen Lebzeiten als auch, kurz nach dem Ersten Weltkrieg, aus dessen Nachlaß (HUBER & HUBER, 1982). Weinberger war ebenfalls Gründungsmitglied der Wiener Mineralogischen Gesellschaft. Das Hofmuseum verdankt ihm eine Reihe hervorragender Mineralstufen, so u.a. auch die prachtvolle Amethystdruse aus der Sierra do Mar in Brasilien, die 1904 als Geschenk an das Museum kam. Eine besonders schöne Braunitstufe von Miguel Burnier, Minas Gerais, Brasilien, aus der Sammlung Weinberger wurde von Rudolf Koechlin (\* 1862, † 1939) untersucht (KOECHLIN, 1908) und kann heute in der mineralogischen Schausammlung der Universität Harvard bewundert werden. Koechlin betreute bereits ab 1902 die Sammlung Weinbergers, da seine Anstellung als Kustos an der Mineralogisch-Petrographischen Abteilung des Hofmuseums von öffentlicher Seite weitestgehend als ein Ehrenamt angesehen und daher pekuniär kaum abgelingen wurde.

Karabacek hat auf seinen Reisen viele Museen und private Sammlungen in Europa und Übersee besucht und stand mit Museumskustoden, Mineralogen und privaten Sammlern in engem Kontakt und Tauschverkehr. Er hat sein Inventarbuch sehr sorgfältig geführt und bei den Stücken sowohl Vorbesitzer als auch Wertauszeichnung angegeben. Diese erfolgte aber offenbar erst in den Zwanzigerjahren, da nur Schillingbeträge angeführt werden. Zu den nach diesen Angaben seinerzeit wertvollsten Stücken, die sich heute in der Schausammlung der Universität Harvard befinden, gehören: herrliche Stufen von Tsumeb, wovon Karabacek umfangreiche Suiten in den Zwanzigerjahren, teilweise vom Mineralienhandel (W.Maucher, München), erwarb; 2 Bornite von Froßnitz/Osttirol (Sammlung Weinberger); Moschellandsbergit von Moschellandsberg (Deutschland) (erworben von Arthur Kusche, München); Topas von Mursinka (Ural) (Sammlung Gentoch); 2 Apatite von Auburn, Maine (Sammlung Weinberger); Hauerit von Raddusa (Sizilien) (Sammlung Miller-Aichholz).

Anhand der Eintragungen im Inventarbuch sind die weitverzweigten Kontakte Karabaceks gut nachzuvollziehen. So stand er etwa mit den Museen in Budapest, Dresden, London, Oslo und Paris in Kontakt. Vom Landesmuseum in Klagenfurt erwarb er Skorodite von Lölling, Wulfenite von Schwarzenbach (Kärnten, heute Slowenien), Bleiberg (Kärnten) und Pribram (Böhmen), Ankerit vom Steirischen Erzberg. Aus Freiberg (Sachsen) erhielt er Fluorit, aus Cornwall Linarit und von Gellivara Apophyllit; vom k.k. Naturhistorischen Hofmuseum in Wien zwei Apatitstufen von der Knappenwand im Untersulzbachtal (Salzburg), Euklas von der Gamsgrube im Mölltal (Kärnten) und Uranothallit von Joachimsthal (Böhmen). Von der Hochschule für Bodenkultur erwarb er im Tausch einen Manganit von Ilfeld (Deutschland) sowie einen Arsenopyrit von Mitterberg (Salzburg).

Die Eintragung im Inventar, betreffend einen Rauriser Kalkspat, vom 'Wirt, Rauris' scheint sich auf Josef Pfeiffenberger sen. zu beziehen, der auch mit dem Wiener Naturhistorischen Museum in Geschäftsverbindung stand (FINK & NIEDERMAYR, 1998).

Bei genauer Durchsicht des Inventarbuches findet man auch viele Vertreter der von der Jahrhundertwende bis in die Zwanzigerjahre bekannten Mineralienhandlungen, wie etwa die Arthur Kusche GmbH. (später DI W. Hirsch), oder DI W. Maucher in München, Dr. W. Krantz in Bonn, Mineralienhaus Droop in Dresden und die Mineralien-Niederlage der Bergakademie zu Freiberg in Sachsen. Von den in Wien ansässigen Mineralienhandlungen sind vor allem Anton F. Abraham, Julius Böhm, Cornelius Ditscheiner, Leopold Eger, Alb.[ine] Jäger und Anton Otto vertreten (FITZ, 1993).

Gegen Ende der Zwanzigerjahre hat Karabacek nicht nur große Teile der wertvollen Sammlung des Wiener Großindustriellen Dr. Heinrich Miller zu Aichholz erworben, sondern es scheint auch der Kontakt zu Harvard in dieser Zeit zu beginnen. So erwarb Karabacek 1929 von der Harvard-Universität u.a. Vanadinit von Mexiko sowie Eosphorit und Turmaline von Newry in Maine. Dieser Kontakt scheint die spätere Erwerbung seiner Sammlung durch Harvard bereits zu einem gewissen Grad vorbereitet zu haben.

Karabacek hat sich im Laufe der Zeit eine hervorragende mineralogische Sachkenntnis angeeignet, die auch von Fachmineralogen sehr geschätzt wurde. Er stand mit den Professoren Gustav Tschermak und Alfred Himmelbauer (Universität Wien) sowie Josef Emanuel Hibschi (Landwirtschaftliche Akademie Tetschen-Liebwerd) in persönlicher Tauschverbindung. Auch Hermann Michel, Direktor der Mineralogisch-Petrographischen Abteilung des Naturhistorischen Museums in Wien, war oft bei Karabacek zu Gast, um Auskünfte über Fundstellen und neue Funde einzuholen. Trotzdem scheint sich der Kontakt zum Wiener Naturhistorischen Museum nach dem

Ersten Weltkrieg in engen Grenzen gehalten zu haben bzw. überhaupt nicht mehr existent gewesen zu sein. Es finden sich in dessen Inventareintragungen aus dieser Zeit nur wenige Zugänge aus der Sammlung Karabacek. Nach dem Zweiten Weltkrieg stand das Naturhistorische Museum mit Karabacek offenbar nicht mehr in Kontakt.

Ein Nachruf für diesen begeisterten Privatsammler ist auch im Rahmen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft (bis 24. November 1947 Wiener Mineralogische Gesellschaft), der er, wie bereits erwähnt, viele Jahre lang als Mitglied angehörte und hier auch Vorstandsfunktionen innehatte, nie verfaßt worden. Lediglich der damalige Vorsitzende der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft Hans Wieseneder hielt in der außerordentlichen Jahreshauptversammlung am 12. Juni 1963 einen kurzen Nachruf auf den kurz zuvor Verstorbenen. Mögen diese Zeilen daher in gewissen Sinne als posthume Würdigung dieses großen österreichischen Sammlers aufgefaßt werden.

### **Dank**

Frau Marietta Witt-Döring, Wien, sind wir für viele Informationen und für die Bereitstellung von Unterlagen, ohne die die Verfassung dieses Artikels nicht möglich gewesen wäre, sehr zu Dank verpflichtet. Weiters gebührt unser Dank Herrn Prof. Dr. Friedrich Seifert, Bayreuth, der die Mitgliedsdaten Karabaceks bei der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft überprüfte.

### **Literatur**

- FINK, H. & G. NIEDERMAYR (1998): Tradition und Wissenschaft. Der Rauriser Sammler Josef Pfeiffenberger. - Mineralien-Welt 9, 4: 17-31.
- FITZ, O. (1993): Eine Sammlung erzählt. Beitrag zu Inhalt und Geschichte der Mineralien- und Gesteinssammlung an der Abteilung Baugeologie des Institutes für Bodenforschung und Baugeologie, Universität für Bodenkultur Wien. - Mitt. Inst. f. Bodenforschung und Baugeologie, Abteilung Baugeologie, Universität für Bodenkultur Wien, Sh. 1, 80 S.
- HUBER, S. & P. HUBER (1982): Zur Tradition des Mineraliensammelns im Raume Wien. - Mitt. Österr. Miner. Ges. 128: 77-86.
- KARABACEK, H. (um 1930, nicht datiert): Notiz in Maschinschrift aus den Dreißigerjahren. Im Besitz von Frau Marietta Witt-Döring.
- KLANG, M. (Red.) (1936): Die geistige Elite Österreichs. Ein Handbuch der Führenden in Kultur und Wirtschaft. - Wien: Verlag C. Barth, 1027 S
- KOECHLIN, R. (1908): Hausmannit- und Braunitkrystalle von Brasilien. - Mitt. Wiener Miner. Ges. 39, 17-25.
- WILKE, H.-J. (1986): Die Mineralogische Sammlung der Harvard-Universität. - Lapis 11, 20-24.
- WITT-DÖRING, M. (2000): Persönliche Mitteilung.

bei der Redaktion eingegangen: 4. April 2000

Manuskript angenommen: 15. April 2000

**TWO-MICA GRANITES OF THE SOUTHWESTERN PART  
OF THE SOUTH BOHEMIAN BATHOLITH**

by

**Milo René**

Institute of Rock Structure and Mechanics  
Academy of Sciences of the Czech Republic  
Prague 8, V Holešovičkách 41, Czech Republic

**Abstract**

The aim of this paper that is supported by the Czech-Austrian project KONTAKT/AKTION, was to study the evolution of the two-mica granites in the southwestern part of the Southern Bohemian Batholith (SBB) in the area between the towns of Nové Hrady and Trhové Sviny. They are divided into the equigranular Mrákotín subtype and the porphyritic Číměř subtype. Both are peraluminous, fractionated monzogranites with rather uniform major element geochemistry. They have high LREE/HREE, high contents of Rb and Th and low concentrations of Sr and Yb.

**Introduction**

The extensive granitoids of the exposed surface of the South Bohemian Batholith (SBB) are various types of two-mica granites. In Austria the term Eisgarn granite is used for the two-mica granites. The Czech classification is based on field descriptions of granites in the central part of the batholith. Three subtypes occur between Řásná, Mrákotín, Číměř and Landštejn (KOUTEK, 1925; ZOUBEK, 1949). These have very similar mineralogical composition, but different textures and sometimes have been considered as three distinct magmatic phases. New geochemical and mineralogical data together with results of airborne- and ground gamma-ray spectrometry enable us to reconsider the evolution of these granites in the central part of the South Bohemian Batholith (BREITER et al., 1998; BREITER & KOLLER, 1999).

The two-mica granites of the SBB appear to have formed in three magmatic episodes. The evolution of the batholith began with the intrusion of a peraluminous granite of the Lásenice-Deštná subtype (KLEČKA et al., 1991; RENÉ et al., 1999). Low concentrations of compatible elements are characteristic of these granites. Some parts were affected by shear zones (KLEČKA & RAJLICH, 1994). The second magmatic phase started with the intrusion of high-K peraluminous Th- and Zr-rich melt; it crystallised as the porphyritic subtype Číměř and equigranular subtype Mrákotín. This granite melt was inhomogeneous. Granites of this intrusive phase form the largest part of the South Bohemian Batholith.

Further fractionation of the second phase of the peraluminous granite melt produced the Eisgarn s.s. granite in the central part of batholith between the towns of Nová Bystrice and Gmünd (BREITER & KOLLER, 1999). Fractionation of this granitic melt produced small bodies of F-, P, Rb-, Li-, Sn-, Nb- and Ta-rich muscovite granites (Šejby, Homolka, Nakolice; KLEČKA & MATĚJKA, 1992; BREITER & SCHARBERT, 1998). A fresh intrusion of Si-rich, but F-, Rb-, Li- and U-poor granite melt produced deep-seated coarse-grained granites (Zvůle, Melechov, Čeřínek).

## Geology

Between Nové Hrady and Trhové Sviny, the two-mica granites of the South Bohemian Batholith occur in two subtypes: the equigranular Mrákotín and the porphyritic subtype Číměř type. These extend in the area of Slepíčí Hory Mountains (STANÍK et al., 1978; VRÁNA et al., 1984). The boundaries of individual granite bodies are often tectonic. Shear structures are oriented mostly in NNE-SSW to NE-SW directions parallel to the regional shear zones in the southern part of the Bohemian Massif (Rodl shear zone, Kaplice fault, e.g. BRANDMAYR et al., 1995). The shear zones are sometimes filled by mylonite and quartz veins or by dykes of younger magmatic rocks (younger two-mica granites, aplites, rarely also granodiorite porphyries). Older granites of the Weinsberg type also occur near Trhové Sviny as biotite granodiorites of the Freistadt type. The contacts of individual bodies of granitoids are covered by Tertiary and Quaternary sediments. The oldest magmatic phase is biotite of the Weinsberg type. Xenolithes of these granite type in the two-mica granites are of younger age, while large idiomorphic Kfs-phenocrysts represent older xenocrysts. These phenomena were best observed in a flooded quarry on the SSE outskirts of a village Besednice (see VRÁNA ET AL., 1984).

## Mineralogical composition

The two-mica granites can be divided into several textured subtypes. The most extensive are medium- to fine grained two-mica granites of the Mrákotín subtype, that were quarried near the villages of Besednice, Slavče and Dobrkovská Lhotka. Medium- to coarse-grained, porphyritic granites of the Číměř subtype are less abundant. This subtype of two-mica granites occurs in the Kohout hills and between Olešnice and Nové Hrady. Difference in muscovite/biotite ratio are characteristic for the two-mica granites between Nové Hrady and Trhové Sviny, as well as differences in amounts of plagioclase and K-feldspar (see Fig. 1, that includes mineralogical data from STANÍK et al., 1978 and VRÁNA et al., 1984). The mineralogical composition suggests that granites of the Číměř subtype are typical monzogranites, but the granites of the Mrákotín subtype are monzogranites to syenogranites. As the anorthite component in some samples of the Mrákotín subtype is as low as  $An_{1,8}$  (ČEKAL, 1995) these may be alkali feldspar granites. The most likely explanation of these differences in mineral composition is the difference in altitude of individual granite blocks. These were affected by vertical movement along NNE-SSW and NE-SW shear zones during the post-Variscic extension phase of evolution of the Bohemian Massif.

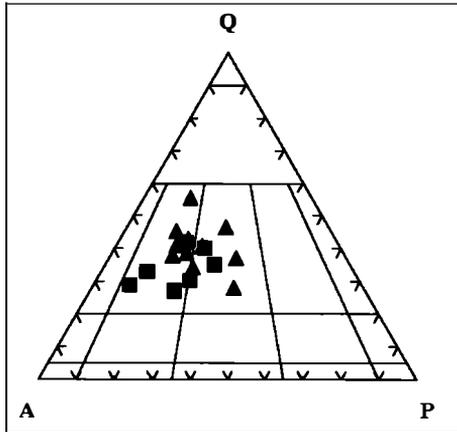


Fig. 1

Modal composition of the two-mica granites.  
 Full square: two-mica granites of the Címer subtype.  
 Full triangle: two-mica granites of the Mrákotín subtype.

Medium- to fine-grained granites of the Mrákotín subtype are blue-grey to light grey, that weather to light yellow-white equigranular rocks. The granites of this subtype are sometimes subtly foliated and rarely contain Kfs phenocrysts 1–2 cm in size. Around the villages Besednice and Dobrkovská Lhotka large xenocrysts of K-feldspar (4–8 cm) occur. K-feldspar is composed by perthitic microcline that forms hypidiomorphic to allotriomorphic grains of 0.6–1 mm, rarely 2–4 mm in size. Plagioclase is  $An_{1.8-2.6}$ ; its grains are hypidomorphic to allotriomorphic, 0.5–1 mm in size and it is frequently zoned. Quartz forms tiny allotriomorphic grains and minute grained aggregates. Biotite mostly forms individual bars or bar aggregates, sometimes together with muscovite. Biotite is pleochroitic, red-brown along X and Z and yellow-brown along X. Biotite is sometimes chloritized. Accessory minerals are apatite, zircon, ilmenite, and also sillimanite, cordierite and andalusite occur in some samples. Garnet (almandine) occurs in granites near the village of Březí, west of Trhové Sviny (ČEKAL, 1995).

Medium to coarse-grained porphyritic granites of the Címeř subtype contain K-feldspar phenocrysts (2–3 cm). K-feldspar is perthitic with significant microcline. It is also the part of the ground mass, where it usually forms allotriomorphic grains 1–2 mm in size. The length of the micas bars (muscovite and biotite) is up to 5 mm. Plagioclase grains are sometimes 4 mm in size and their compositional range is  $An_{2.1-3.4}$  with a medium value of  $An_{1.5}$ . Accessory minerals are apatite, zircon, ilmenite, and rare sillimanite and andalusite.

### Chemical composition

Analyses of typical samples of two-mica granites are shown in table 1. Data from ČEKAL (1995), HEŘMÁNEK (1995) and GERDES (1997) are used for discussion. Major and some trace elements (Rb, Ba, Sr, Zr, Nb) were determined by X-ray fluorescence spectrometry on a Siemens SRS-1 spectrometer (Uranium Industry Enterprise, analyst J. Bouška) and Philips PW-1408 (Unigeo Ostrava, laboratory Brno, analyst J. Janáčková, University of Salzburg, Austria, analyst F. Schitter). U and Th were determined by gamma spectrometry using a multi-channel gamma spectrometer NT-512 (Geofyzika Brno, analyst M. Škovierová). The REE contents were determined by ICP-MS (Activation Laboratories Ltd., Ancaster, Canada).

	Re-1222	Re-1229	Re-1230	Re-1493	Re-1494	Re-1505
Subtype	Mrákotín	Mrákotín	Mrákotín	Mrákotín	Mrákotín	Čiměř
SiO <sub>2</sub>	73.16	73.80	73.57	70.46	70.39	71.45
TiO <sub>2</sub>	0.21	0.16	0.24	0.36	0.37	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.12	13.73	13.66	15.46	15.67	15.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot.	1.28	1.19	1.87	2.31	2.32	1.29
MnO	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
MgO	0.40	0.25	0.50	0.62	0.56	0.27
CaO	0.69	1.02	0.64	0.86	0.61	0.79
Na <sub>2</sub> O	2.77	3.38	2.88	2.16	2.23	2.55
K <sub>2</sub> O	5.53	5.02	4.81	5.68	5.72	6.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.11	0.20	0.17	0.17	0.22
LOI	1.10	0.80	1.10			
Total	99.50	99.49	99.50	98.11	98.07	98.78
Ba (ppm)	395	900	384	444	449	328
Rb (ppm)	282	208	204	285	281	269
Sr (ppm)	84	148	103	101	105	85
Zr (ppm)	105	105	103	138	150	71
U (ppm)	3.9	3.9	2.8			
Th (ppm)	15.5	18.5	26.0	27	35	14

Table 1

*Representative analyses of two-mica granites from the area between Nové Hradky and Trhové Sviny.*

*Re-1222: abandoned quarry, Chlum hill, Locenice; Re-1229: abandoned quarry, Besednice;*

*Re-1230: abandoned quarry, Blansko; Re-1493: abandoned small quarry, Dobrkovská Lhotka;*

*Re-1494: abandoned quarry, Dobrkovská Lhotka; Re-1505: abandoned small quarry, Zár;*

The majority of the samples are peraluminous granites with an aluminium saturation index between 0.98 and 1.42 (mean value 1.18). High K-granites occur between Besednice and Nové Hradky with high Zr, Th and REEs. Changes of Rb and Zr (Fig. 2) and Ba - Sr show gradual fractionation of granite melt. Some fine-grained granites of the Mrákotín subtype from Besednice and Dobrkovská Lhotka have higher contents of Ba and Sr. Both subtypes of the granites show very similar distribution of LREE, but some significant differences HREE (Fig. 3). A higher negative Eu-anomaly is typical. In comparison with the composition of upper continental crust (Fig. 4) there are higher contents of Rb and Th and lower contents of Sr and Yb.

The good correlation between Th and Ce suggests that the major host of Th in both granite subtypes is monazite. The positive correlation between Th and Zr can be explained by similar behaviour of these elements during fractionation of the granite magma. Both monazite and zircon are included in biotite.

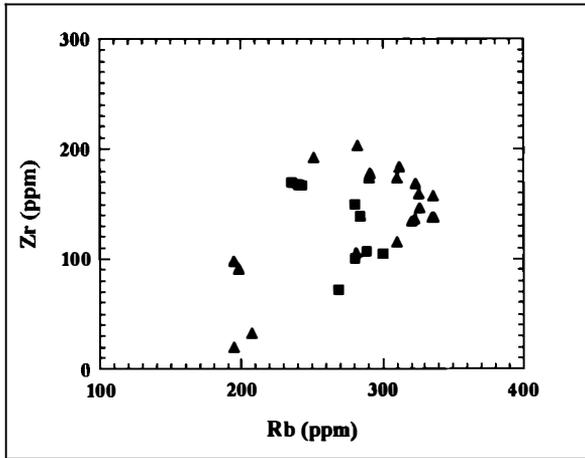


Fig. 2

Variation diagram of Zr and Rb for the two-mica granites. Symbols see Fig. 1.

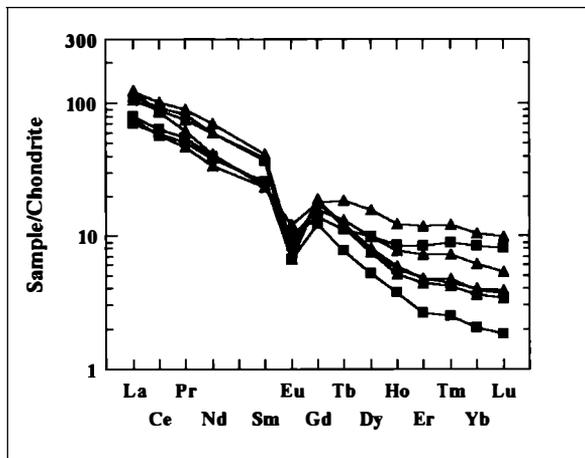


Fig. 3

Chondrite-normalized REE pattern for the two-mica granites. Normalizing values are from TAYLOR & McLENNAN (1985). Symbols see Fig. 1.

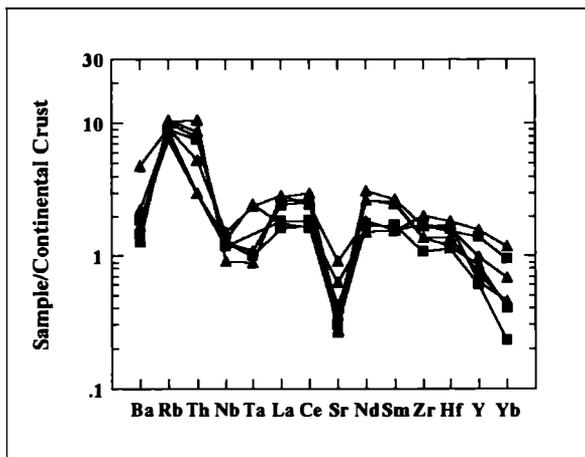


Fig. 4

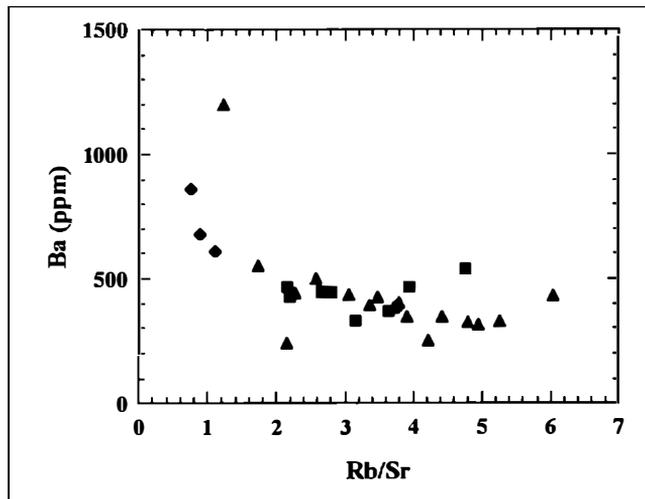
Spiderdiagram of selected element normalized to average upper continental crust for two-mica granites. Normalizing values are from TAYLOR & McLENNAN(1985). Symbols see Fig. 1.

## Discussion

Small differences in chemical composition of granites of the Mrákotín and the Číměř subtypes agree with the observations of BREITER & KOLLER (1999) from the main body of the South Bohemian Batholith. The chemical evidence suggests Mrákotín subtype is only a locally evolved variety of the Číměř granite magma. Similar fractionation of the granite magma (Fig. 5) is characteristic of both granite subtypes. The higher content of Ba and Sr in some of the Mrákotín subtype from Besednice can be compared with the higher content of Ba and Sr in fine- to medium-grained granites from Weitra (GERDES, 1997). These are probably due to interaction between Weinsberg and Eisgarn granite melts.

Fig. 5

Variation diagram of Ba and Rb/Sr for two mica granites. Symbols see fig. 1; full rhombs: two-mica granite of the Weitra subtype.



The granite composition can be compared with the products of fluid-absent melting experiments under crustal P-T conditions (see GERDES, 1997). There is a general decrease in compatible elements, LREE, Th, Zr with increasing Rb contents (Fig. 2). This is best explained if the highest Rb two-mica granites represent the lowest degrees of partial melting. Higher-degree partial melts will contain larger amounts of restite and will be produced by higher degrees of partial melting of phases such as plagioclase and biotite (e.g. HARRIS & INGER, 1992). The major and trace element distribution can be explained by 30–50 vol.% partial melting of pelite-dominated graywackes with a composition similar to common metasediments of the Variscan belt (VELLMER & WEDEPOHL, 1994; GERDES, 1997; GERDES et al., 2000). The higher content of Ba can be explained by interaction of the granite melt with older melt of biotite granite of the Weinsberg type. Varying degrees of partial melting were therefore probably the dominant process forming the two-mica granites from southwestern part of the SBB.

The chemical composition of granites from the southwestern part of the South Bohemian Batholith is comparable with the composition of leucogranites from the Massif Central and South Armorican massif in France (BERNARD-GRIFFITHS et al., 1985; WILLIAMSON et al., 1996).

## Conclusion

Between Nové Hradý and Trhové Sviny the Mrákotín subtype and the porphyritic Číměř subtype of the granites of the South Bohemian Batholith are present. Both subtypes represent monzogranites. The major element geochemistry of all granites is uniform. All these granites are peraluminous and include high-K granites. In comparison with the composition of the upper continental crust these granites have higher contents of Rb and Th and lower contents of Sr and Yb. The peraluminous composition and the distribution of compatible trace elements indicate that granites from the southwestern part of the SBB are S-type granites, formed by partial melting of crustal metasediments.

## Acknowledgements

This paper is part of a study of the two-mica granites of the South Bohemian Batholith made with the financial support by the Czech-Austrian foundation AKTION/KONTAKT (Project No. 12/1999). I thank Dr. K. Breiter, Dr. D. Matějka and Prof. F. Finger for discussions. Ross Taylor is thanked for reviewing the manuscript and correcting the English.

## References

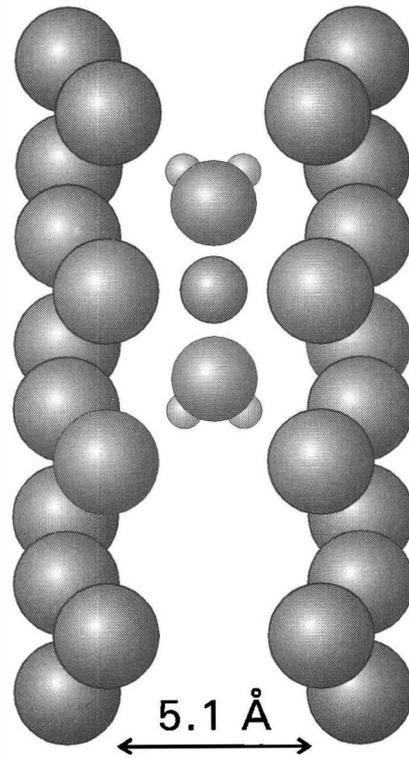
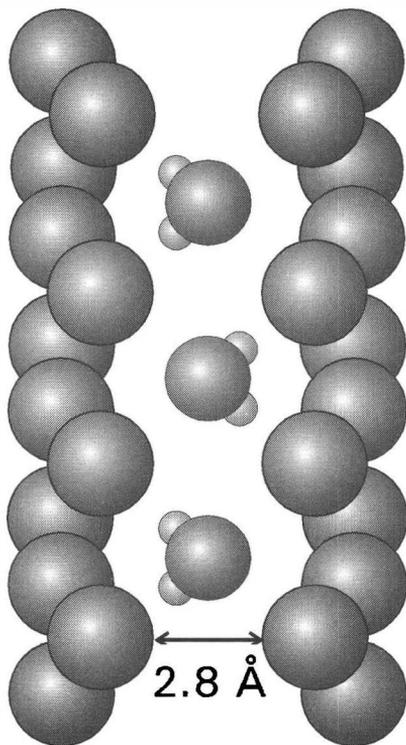
- BERNARD-GRIFFITHS, J., PEUCAT, J. J., SHEPPARD, S. & VIDAL, PH. (1985): Petrogenesis of Hercynian leucogranites from the southern Armorican Massif: contribution of REE and isotopic (Sr, Nd, Pb and O) geochemical data to the study of source rock characteristics and ages. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 74, 235-250.
- BRANDMAYR, M., DALLMEYER, R. D., HANDLER, R. & WALLBRECHER, E. (1995): Conjugate shear zones in the South Bohemian massif (Austria): implications for Variscan and Alpine tectonothermal activity. - *Tectonophysics*, 248, 97-116.
- BREITER, K., GNOJEK, I. & CHLUPÁCOV, Á M. (1998): Radioactivity pattern - constraints for the magmatic evolution of the two-mica granites in the Central Moldanubian Pluton. - *Věst. Čes. geol. Úst.*, 73, 301-311.
- BREITER, K. & KOLLER, F. (1999): Two-mica granites in the central part of the South Bohemian pluton. - *Abh. Geol. B.-A.*, 56, 201-212.
- BREITER, K. & SCHARBERT, S. (1998): Latest intrusions of the Eisgarn Pluton (South Bohemia - Northern Waldviertel). - *Jb. Geol. B.-A.*, 141, 25-37.
- ČEKAL, F. (1995): Geochemistry and petrology of granitoids in area between Trhové Sviny, Kaplice and Nové Hradý. - Thesis. Faculty of Science, Charles University, 71 pp. (in Czech).
- GERDES, A. (1997): Geochemische und thermische Modelle zur Frage der spätrogenen Granitgenese am Beispiel des Südböhmischen Batholiths: Basaltisches Underplating oder Krustenstapelung? - PhD Thesis, 113 pp.
- GERDES, A., WÖRNER, G. & HENK, A. (2000): Post-collisional granite generation and HT-LP metasediments by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith. - *J. Geol. Soc.*, 157 (in print).

- HARRIS, N.B.W. & INGER, S. (1992): Trace element modelling of pelite-derived granites. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 46-56.
- HERMÁNEK, R. (1995): Geochemistry and petrology of granitoids of the Novohradské Hory Mts. and the Novohradské podhůří area. – Thesis. Faculty of Science, Charles university, 136 pp. (in Czech).
- HERMÁNEK, R. & MATĚJKA, D. (1998): Granites of the Novohradské Hory Mts and surrounding area.- *Acta Univ. Carol. Geol.*, 42, 262-263.
- KLEČKA, M., MATĚJKA, D., JALOVEC, J. & VAŇKOVÁ, V. (1991): Geochemical investigation of the group granitoids of the Eisgarn type in the southern part of the Central massif of the Moldanubian batholith. - *Zpr. geol. Výzk. v roce 1989*, 109-111. (in Czech).
- KLEČKA, M. & MATĚJKA, D. (1992): Moldanubian pluton as an example of the late Variscan crustal magmatism in the Moldanubian zone. - In: 7th Geological workshop: Styles of superposed Variscan nappe tectonics. Abstracts, 13-14.
- KLEČKA, M. & RAJLICH, P. (1994): Subhorizontal shear zones at the mantle and western periphery of the central massif of the Moldanubian pluton. - *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 59, 275-282. (in Czech).
- KOUTEK, J. (1925): About granite from Mrákotín. - *Rozpr. Čes. akad. věd, II. tř.*, 34/18, 1-18. (in Czech).
- RENÉ, M., MATĚJKA, D. & KLEČKA, M. (1999): Petrogenesis of granites of the Klenov massif. – *Acta Montana, Ser. AB*, 7, 107-134.
- STANÍK, E. et al. (1978): Explanation to basic geological map ČSSR 1:25 000 Sheet Nové Hradky. Ústřední ústav geologický, 43 pp. (in Czech).
- TAYLOR, S. R. & McLENNAN, S. M. (1985): *The continental crust: its composition and evolution.* – Blackwell, 312 pp.
- VELMER, C. & WEDEPOHL, K. H. (1994): Geochemical characterization and origin of granitoids from the South Bohemian batholith in Lower Austria. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, 257-276.
- VRÁNA, S. et al. (1984): Explanation to basic geological map ČSSR 1:25 000 Sheet Trhové Sviny. Ústřední ústav geologický, 51 pp. (in Czech).
- WILLIAMSON, B. J., SHAW, A., DOWNES, H. & THIRLWALL, M. F. (1996): Geochemical constraints on the genesis of Hercynian two-mica leucogranites from the Massif Central, France. - *Chem. Geol.*, 127, 25-42.
- ZOUBEK, V. (1949): Report on the general geological mapping on the sheet Jindřichův Hradec. - *Věst. Geol. Úst.*, 24, 193-195. (in Czech).

bei der Redaktion eingegangen: 29. Mai 2000

Manuskript angenommen: 23. Juni 2000

# VORTRÄGE



**EINSCHLÜSSE IN DIAMANTEN –  
“BOHRLÖCHER“ IN DEN TIEFEN ERDMANTEL**

von

**Thomas Stachel**

Institut für Mineralogie  
Senckenberganlage 28, D-60054 Frankfurt

Vortrag vor der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft  
gehalten am 24. Jänner 2000 in Wien und am 25. Jänner 2000 in Leoben

### **Einleitung**

Unser Wissen über die mineralogische und chemische Zusammensetzung des Erdmantels basiert auf verschiedenen Informationsquellen, wie etwa direkten Untersuchungen an Mantelxenolithen und primären Magmen, Hochdruckexperimenten oder Modellierungen geophysikalischer Daten. Die unmittelbarsten Zeugen, Mantelxenolithe, stammen, von wenigen Ausnahmen abgesehen (SAUTTER et al., 1991; MACDOUGALL & HAGGERTY, 1999), aus dem lithosphärischen Erdmantel und erlauben uns dadurch Einblicke bis in etwa 200 km Tiefe. Teilweise Reequilibration und metasomatische Überprägung von Xenolithen während des Aufstiegs in einer Schmelze und ihre starke Anfälligkeit für Alteration erschweren allerdings die Interpretation der gewonnenen Daten. Daraus ergibt sich der unmittelbare Vorteil ähnlicher Untersuchungen an Mineraleinschlüssen in Diamanten: durch einen chemisch inerten Container von allen späteren Einflüssen abgeschirmt und ohne Partner für eine mögliche Reequilibration, stellen sie unveränderlich frische Zeugen ihrer Quellregionen im Erdmantel dar. In Abhängigkeit von der Größe des lokalen geothermischen Gradienten, tritt Diamant erst ab einer Tiefe von 140 bis 200 km als die stabile Modifikation des Kohlenstoffs auf. Im Vergleich zu Mantelxenolithen liefern uns Diamanten dafür aber Informationen aus einem wesentlich größeren Tiefenbereich, der sogar die 660 km Diskontinuität überschreitet.

### **Einschlußsuiten**

Bereits die ersten, vor etwa 30 Jahren begonnenen Untersuchungen an Einschlüssen in Diamanten ergaben, daß eine mineralogische Aufteilung in eine eklogitische und eine peridotitische Einschlußsuite möglich ist (MEYER & BOYD, 1972; SOBOLEV et al., 1976; SOBOLEV, 1977; HARRIS & GURNEY, 1979), entsprechend den beiden Hauptgesteinen des Oberen Erdmantels.

Die peridotitische Suite lässt sich weiter in eine lherzolithische (klinopyroxenführende) und eine harzburgitische (klinopyroxenfreie) Paragenese unterteilen. Nachfolgende geothermobarometrische Untersuchungen ergaben, dass beide Einschlußsuiten (eklogitisch und peridotitisch) aus dem subkontinentalen lithosphärischen Oberen Erdmantel stammen (BOYD & GURNEY, 1986). Für peridotitische Einschlüsse erlauben geeignete Mineralparagenesen die Bestimmung paläogeothermischer Gradienten (Abb. 1), die in der Regel einem Oberflächenwärmefluß von 40–42 mW/m<sup>2</sup> entsprechen und damit typische Schildgeothermen darstellen (BOYD & GURNEY, 1986; STACHEL & HARRIS, 1997).

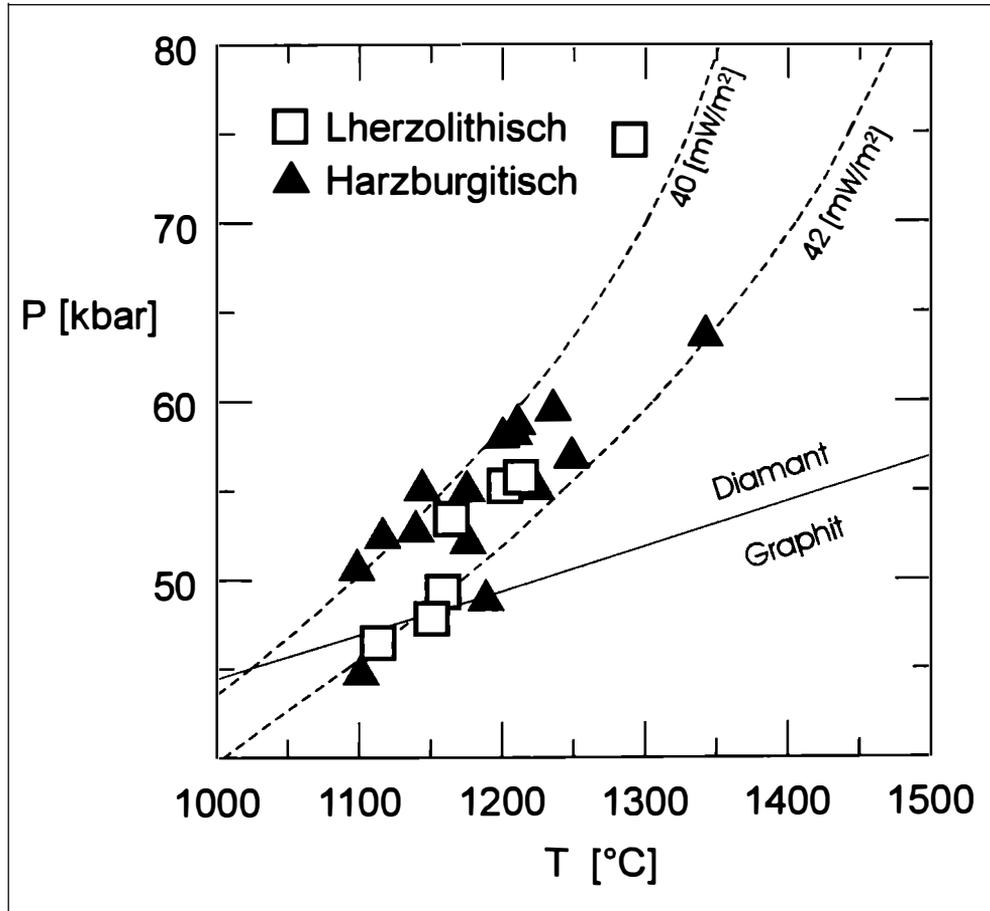


Abb. 1

Druck- und Temperaturabschätzungen (HARLEY, 1984; BREY & KÖHLER, 1990) für lherzolithische und harzburgitische Granat-Orthopyroxen-Einschlüsse in Diamanten weltweit. Konduktive Geothermen für 40 bis 42 mW/m<sup>2</sup> Oberflächenwärmefluß nach POLLACK & CHAPMAN (1977).

Zusätzlich zu diesen lithosphärischen Diamanten wurden inzwischen auch Einschlüsse gefunden, die aus der Übergangszone (410–660 km) und sogar aus dem Unteren Erdmantel (> 660 km) stammen. Experimentelle Arbeiten (RINGWOOD, 1967; IRIFUNE, 1987) belegen, dass Si in Granat ab einem Druck von ca. 8 GPa (240 km) neben der Tetraederposition zunehmend die normalerweise größeren dreiwertigen Ionen (Al, Cr und Fe<sup>3+</sup>) vorbehaltene Oktaederposition besetzt, ein Vorgang, der einer Löslichkeit von Pyroxen in der Granatstruktur (majoritische Granate) entspricht. Die höchsten beobachteten Majoritgehalte in Diamanteinschlüssen können nur durch eine Bildung innerhalb der Übergangszone (410–660 km) erklärt werden (MOORE & GURNEY, 1985; DEINES et al., 1991; STACHEL et al., 2000a). Eine Bildung von Diamanten im Unteren Erdmantel wird durch Einschlüsse von Ferroperiklas zusammen mit Stishovit und Magnesium- und Kalziumsilikatperovskiten belegt, wie sie in Diamanten aus der brasilianischen Mine Sao Luiz (HARTE & HARRIS, 1994; HARTE et al., 1999) sowie aus dem Kankan-Gebiet in Guinea, West-Afrika, (STACHEL et al., 2000b) vorliegen. Für Guinea konnten wir dabei durch die Beobachtung retrograder Phasenumwandlungen ursprünglicher Kalziumsilikatperovskite dokumentieren, dass die Exhumierung der Diamanten aus dem Unteren Erdmantel bis in Tiefen von etwa 300–250 km (Lithosphärenbasis) recht langsam stattfindet, von wo aus dann eine rasche vulkanische Förderung erfolgt (JOSWIG et al., 1999). Eine in den Einschlüssen dokumentierte starke Anreicherung von inkompatiblen Spurenelementen sowie das Auftreten von positiven und negativen Eu-Anomalien (STACHEL et al., 2000b) legen eine Ableitung der Diamanten aus dem Unteren Erdmantel aus subduzierter ozeanischer Kruste (Megalith-Modell von RINGWOOD, 1991) nahe.

### **Entstehung von Diamanten und Herkunft der kratonischen Lithosphäre**

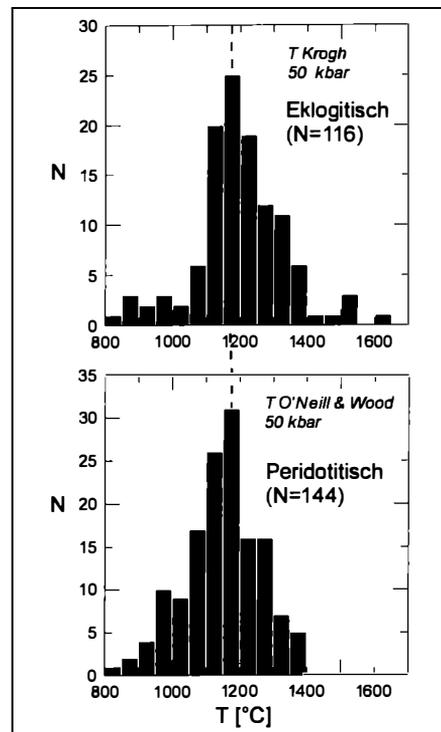
Einschlüsse weisen in der Regel eine kubo-oktaedrische Symmetrie auf, die durch die sehr hohe Formenergie des umgebenden Diamanten erzwungen wird. Daraus lässt sich auf eine gleichzeitige Bildung von Einschluß und Diamant schließen. Somit können im Prinzip radiogene Isotopensysteme (Sm-Nd, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar, Re-Os) in Einschlüssen zur Altersdatierung von Diamanten verwendet werden. Ein Problem ist dabei die geringe Korngröße der Einschlüsse, aufgrund derer für das Sm-Nd System zusammengesetzte Proben aus einer Vielzahl von Diamanten gemeinsam untersucht werden müssen. Zudem besteht Unsicherheit darüber, ob hohe Sm-Nd-Modellalter nicht nur das Alter einer chemisch langfristig isolierten Diamantquellregion widerspiegeln. PEARSON & SHIREY (1999) geben eine Zusammenfassung bisheriger Datierungen und kommen zu der Bewertung, dass trotz aller Unsicherheiten von einer Diamantbildung im allgemeinen deutlich (bis zu 3 Ga) vor dem Eruptionsalter der jeweiligen Kimberlitschlote auszugehen ist. Lange Mantelresidenzzeiten (> 1 Ga) werden zudem auch durch den generell hohen Aggregationszustand von im Diamantgitter als Spurenelement eingebautem Stickstoff angezeigt (HARRIS, 1987). Das bedeutet, dass Diamanten in keiner genetischen Beziehung zum transportierenden Kimberlitmagma stehen.

Nach einem vor allem von BOYD & GURNEY (1986) entwickelten Modell soll die Bildung peridotitischer Diamanten im Zuge metamorpher oder metasomatischer Ereignisse unter Subsolidusbedingungen in einem Mantelbereich stattfinden, der durch die Extraktion von Komatiiten (BOYD, 1989) im Archaikum chemisch verarmt wurde.

Die Anordnung von Wachstumsflächen und die polyedrische Gestalt natürlicher Diamanten sowie die Ausbildung glatter Oberflächen verweisen allerdings auf Wachstum in einen freien Raum (Schmelze) hinein (SUNAGAWA et al., 1984; BULANOVA, 1995). Untersuchungen zur Kohlenstoffisotopie ( $\delta^{13}\text{C}$ ) von Diamanten zeigen, dass die peridotitische Suite eine angenäherte Normalverteilung um den Erdmantelwert von  $-5\text{‰}$  (relativ zum PD-Belemniten Standard) bildet, was im Einklang mit einer primordialen Herkunft des Kohlenstoffs aus dem Erdmantel steht (GURNEY, 1989). Die Kohlenstoffisotopie eklogitischer Diamanten zeigt ebenfalls ein Maximum nahe  $-5\text{‰}$ , die Verteilung ist allerdings deutlich zu isotopisch leichteren Werten hin geneigt ( $-34$  bis  $+3\text{‰}$ ). Daraus wurde auf einen Einfluss organischen Kohlenstoffs ( $-35$  bis  $-20\text{‰}$ ) geschlossen, der sich aus der sedimentären Auflage subduzierter ozeanischer Kruste ableiten soll (FRANK, 1969; KIRKLEY et al., 1991). Eklogitische Diamanten würden somit metamorph während der Subduktion ozeanischer Lithosphäre gebildet. Untersuchungen der Sauerstoffisotopie ( $\delta^{18}\text{O}$ ) diamantführender Eklogitxenolithe (JACOB et al., 1994; JACOB & FOLEY, 1999) stützen eine solche Subduktionshypothese, wobei vor allem die Beobachtung von Trends hin zu isotopisch leichterem Sauerstoff wohl nur durch die Seewasseralteration ozeanischer Kruste erklärt werden kann. Isotopische Fraktionierung primordialen Kohlenstoffs im Zuge eines Rayleigh Destillationsprozesses könnte die beobachteten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte eklogitischer Diamanten allerdings ebenfalls erklären (GALIMOV, 1991). Zudem konnten CARTIGNY et al. (1998) zeigen, dass die Stickstoffisotopie eklogitischer Diamanten keinerlei Hinweise auf den Einfluss einer subduzierten Komponente enthält. In jedem Fall belegen geothermometrische Daten (Abb. 2), dass die Bildung eklogitischer Einschlussparagenesen bei Temperaturen um  $1150^\circ\text{C}$  stattfindet, also bei den gleichen Temperaturen, die wir für peridotitische Diamanten finden, womit eine Bildung eklogitischer Diamanten in einer kalten, abtauchenden ozeanischen Platte auszuschließen ist.

Abb. 2

*Equilibrierungstemperaturen für Einschlussparagenesen in eklogitischen (Grt-Cpx, KROGH, 1988) und peridotitischen (Ol-Grt, O'NEILL & WOOD, 1979; O'NEILL, 1980) Diamanten, berechnet für einen angenommenen Druck von 50 kbar.*



Auf der Basis von Spurenelementuntersuchungen (hauptsächlich SEE) und in Anbetracht der hohen Cr/Al-Verhältnisse in der peridotitischen Diamantquellregion haben wir ein neues, integriertes Modell für die Genese beider Diamantsuiten entwickelt (STACHEL et al., 1998). Die Reservoirs für peridotitische und eklogitische Diamanten entstanden demnach gemeinsam an mittelozeanischen Rücken, vermutlich bereits im späten Archaikum. Während das peridotitische Reservoir einer durch Schmelzextraktion verarmten ozeanischen Lithosphäre entspricht, ist das Ausgangsgestein der diamantführenden Eklogite die ozeanische Kruste selbst (Abb. 3). Die SEE-Gehalte der eklogitischen Einschlüsse belegen allerdings, dass diese ozeanische Kruste nach der Umwandlung in Eklogit mehr als 10 % Schmelze verloren haben muss (IRELAND et al., 1994), was mit der Beobachtung in Einklang steht, dass Coesit in diamantführenden Eklogiten nur akzessorisch auftritt. Die durch hohe Grade der partiellen Schmelzbildung stark verarmte archaische ozeanische Lithosphäre kann sich aufgrund ihrer relativ geringen Dichte dauerhaft an der Basis kratonischer Lithosphäre anheften (Abb. 3). In diesem verschuppten Bereich ehemaliger ozeanischer Lithosphäre und eklogitischer Kruste findet dann Diamantbildung im Zuge wiederholter metasomatischer Anreicherungsprozesse statt, die zum Teil auf silikatisch-karbonatitische Schmelzen, zum Teil auf CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O-reiche Fluide zurückgehen. Die Bildung peridotitischer und eklogitischer Diamanten findet so unter den gleichen PT-Bedingungen aber in chemisch sehr unterschiedlichen Reservoirs statt.

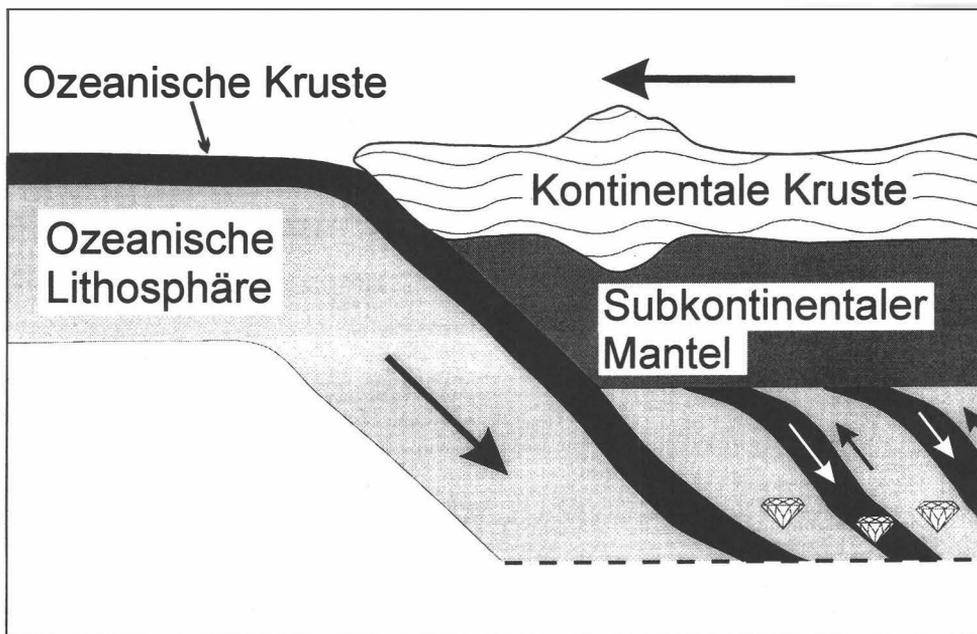


Abb. 3

Modell für die Imbrikation ozeanischer Kruste und Lithosphäre bei flacher Subduktion nach HELMS-STAEDET & SCHULZE (1989). Nach Einschuppung in die kratonische Lithosphäre wachsen peridotitische und eklogitische Diamanten unter ähnlichen PT-Bedingungen aber in unterschiedlichen chemischen Reservoirs.

## Literatur

- BOYD, F.R. (1989): Compositional distinction between oceanic and cratonic lithosphere. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 96, 15-26.
- BOYD, F.R. & GURNEY, J. (1986): Diamonds and the African lithosphere. - *Science*, 232, 472-477.
- BREY, G.P. & KÖHLER, T. (1990): Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers. - *J. Petrol.*, 31, 1353-1378.
- BULANOVA, G.P. (1995): The formation of diamond. - *Journal of Geochemical Exploration*, 53, 1-23.
- CARTIGNY, P., HARRIS, J.W. & JAVOY, M. (1998): Eclogitic diamond formation at Jwaneng: No room for a recycled component. - *Science*, 280, 1421-1424.
- DEINES, P., HARRIS, J. & GURNEY, J. (1991): The carbon isotopic composition and nitrogen content of lithospheric and asthenospheric diamonds from the Jagersfontein and Koffiefontein kimberlite, South Africa. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 2615-2625.
- FRANK, F.C. (1969): Diamonds and deep fluids in the upper mantle. - In: S.K. RUNCORN (Editor), *The Application of Modern Physics to the Earth's and Planetary Interiors*. Wiley, pp. 247-250.
- GALIMOV, E.M. (1991): Isotope fractionation related to kimberlite magmatism and diamond formation. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 1697-1708.
- GURNEY, J. (1989): Diamonds. - In: J. ROSS et al. (Editors), *Kimberlites and related rocks*. GSA Spec Publ 14. Blackwell, Carlton, pp. 935-965.
- HARLEY, S. (1984): An experimental study of the partitioning of iron and magnesium between garnet and orthopyroxene. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 359-373.
- HARRIS, J.W. (1987): Recent physical, chemical, and isotopic research of diamond. - In: P.H. NIXON (Editor), *Mantle Xenoliths*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 477-500.
- HARRIS, J.W. & GURNEY, J.J. (1979): Inclusions in diamond. - In: J.E. FIELD (Editor), *The properties of diamond*. Academic Press, London, pp. 555-591.
- HARTE, B. & HARRIS, J. (1994): Lower mantle associations preserved in diamonds. - *Mineral. Mag.*, 58A, 384-385.
- HARTE, B., HARRIS, J., HUTCHINSON, M., WATT, G. & WILDING, M. (1999): Lowermantle mineral associations in diamonds from Sao Luiz, Brazil. - In: Y. FEI, C. BERTKA & B.O. MYSEN (Editor), *Mantle Petrology: Field Observations and High Pressure Experimentation: A tribute to Francis R. (Joe) Boyd*. Geochemical Society Special Publication No. 6. The Geochemical Society, Houston, pp. 125-153.
- HELMSSTAEDT, H. & SCHULZE, D.J. (1989): Southern African kimberlites and their mantle sample: implications for Archean tectonics and lithosphere evolution. - In: J. ROSS et al. (Editors), *Kimberlites and related rocks*. GSA Spec Publ 14. Blackwell, Carlton, pp. 358-368.
- IRELAND, T.R., RUDNICK, R.L. & SPETSIUS, Z. (1994): Trace elements in diamond inclusions from eclogites reveal link to Archean granites. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 128, 199-213.
- IRIFUNE, T. (1987): An experimental investigation of the pyroxene-garnet transformation in a pyrolite composition and its bearing on the constitution of the mantle. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 45, 324-336.
- JACOB, D. & FOLEY, S. (1999): Evidence for Archean ocean crust with low high field strength element signature from diamondiferous eclogite xenoliths. - *Lithos*, 48, 317-336.
- JACOB, D., JAGOUTZ, E., LOWRY, D., MATTEY, D. & KUDRJAVTSEVA, G. (1994): Diamondiferous eclogites from Siberia - remnants of Archean oceanic crust. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 5191-5207.
- JOSWIG, W., STACHEL, T., HARRIS, J., BAUR, W. & BREY, G. (1999): New Ca-silicate inclusions in diamonds – tracers from the lower mantle. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 173, 1-6.

- KIRKLEY, M.B., GURNEY, J., OTTER, M.L., HILL, S.J. & DANIELS, L.R. (1991): The application of C isotope measurements to the identification of the sources of C in diamonds - a review. - *Applied Geochemistry*, 6, 477-494.
- KROGH, E. (1988): The garnet-clinopyroxene iron-magnesium geothermometer - a reinterpretation of existing experimental data. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99, 44-48.
- MACDOUGALL, J.D. & HAGGERTY, S.E. (1999): Ultradeep xenoliths from African kimberlites: Sr and Nd isotopic compositions suggest complex history. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 170, 73-82.
- MEYER, H. & BOYD, F. (1972): Composition and origin of crystalline inclusions in natural diamonds. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36, 1255-1273.
- MOORE, R. & GURNEY, J. (1985): Pyroxene solid solution in garnets included in diamonds. - *Nature*, 318, 553-555.
- O'NEILL, H. (1980): An experimental study of the iron-magnesium partitioning between garnet and olivine and its calibration as a geothermometer: corrections. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 72, 337.
- O'NEILL, H. & WOOD, B. (1979): An experimental study of the iron-magnesium partitioning between garnet and olivine and its calibration as a geothermometer. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 70, 59-70.
- PEARSON, D.G. & SHIREY, S.B. (1999): Isotopic dating of diamonds. - In: J. RUIZ & D.D. LAMBERT (Editors), *Applications of radiogenic isotopes to ore deposit research. Economic Geology, Special Publication: SEG Reviews in Economic Geology*, pp. 143-171.
- POLLACK, H. & CHAPMAN, D. (1977): On the regional variation of heat flow, geotherms, and lithospheric thickness. - *Tectonophysics*, 38, 279-296.
- RINGWOOD, A.E. (1967): The pyroxene garnet transformation in the earth's mantle. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 2, 255-263.
- RINGWOOD, A.E. (1991): Phase-transformations and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 2083-2110.
- SAUTTER, V., HAGGERTY, S.E. & FIELD, S. (1991): Ultradeep (greater than 300 kilometers) ultramafic xenoliths - petrological evidence from the transition zone. - *Science*, 252, 827-830.
- SOBOLEV, N. (1977): Deep-seated inclusions in kimberlites and the problem of the composition of the upper mantle. (Translated from the Russian edition, 1974). - *AGU, Washington*, 279 pp.
- SOBOLEV, N., YEFIMOVA, E., KOPTIL, V., LAVRENT'YEV, Y. & SOBOLEV, V. (1976): Inclusions of coesite, garnet and omphacite in diamonds of Yakutia - first find of coesite paragenesis. - *Trans. Dokl. USSR Acad. Sci. Earth Sci. Sec.*, 230, 1442-1444.
- STACHEL, T. & HARRIS, J.W. (1997): Syngenetic inclusions in diamond from the Birim field (Ghana) - a deep peridotitic profile with a history of depletion and re-enrichment. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 127, 336-352.
- STACHEL, T., VILJOEN, K.S., BREY, G. & HARRIS, J.W. (1998): Metasomatic processes in lherzolitic and harzburgitic domains of diamondiferous lithospheric mantle: REE in garnets from xenoliths and inclusions in diamonds. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 159, 1-12.
- STACHEL, T., BREY, G.P. & HARRIS, J.W. (2000a): Kankan diamonds (Guinea) I: from the lithosphere down to the transition zone. - eingereicht.
- STACHEL, T., HARRIS, J.W., BREY, G.P. & JOSWIG, W. (2000b): Kankan diamonds (Guinea) II: lower mantle inclusion parageneses. - eingereicht.
- SUNAGAWA, I., TSUKAMOTO, K. & YASUDA, T. (1984): Surface microtopographics and X-ray topographic study of octahedral crystals of natural diamonds from Siberia. - In: I. SUNAGAWA (Editor), *Materials science of the earth's interior. Terra Scientific, Tokyo*, pp. 331-349.

bei der Redaktion eingegangen: Februar 2000

Manuskript angenommen: April 2000

**NEUE EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN AN SYNTHETISCHEN  
NATRIUM-AMPHIBOLEN BEI HOHEN DRUCKEN (20 - 30 KBAR)  
UND TEMPERATUREN (700 - 800°C)**

von

**Peter Tropper**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Mineralogie und Petrographie  
Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck

<sup>2</sup> Department of Geological Sciences  
University of Michigan, 2534 C.C. Little Building, Ann Arbor, MI 48109-1063, USA

Vortrag vor der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft  
gehalten am 25. März 1999 in Innsbruck und am 19. April 1999 in Wien

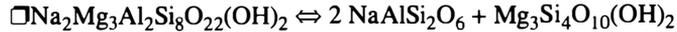
### **Einleitung**

Hochdruckgesteine spielen eine wichtige Rolle in der Untersuchung von Orogenen, da sie Informationen über den Beginn des Orogens (Subduktion) und/oder die eigentliche Kollision enthalten (CARSWELL, 1990; MARUYAMA et al., 1996). Diese Hochdruckgesteine liegen heute als Eklogite und Blauschiefer vor. Obwohl Eklogite generell als "trockene" Gesteine mit der Paragenese Granat - Omphazit - Quarz - Rutil ± Kyanit bezeichnet werden, finden sich OH-hältige Minerale (Amphibol, Muskovit, Paragonit, Zoisit, Lawsonit), welche anzeigen, daß eine Wechselwirkung mit einem Fluid stattgefunden hat (CARSWELL, 1990).

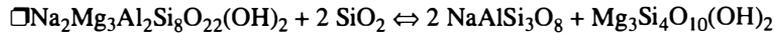
Experimentelle Untersuchungen im System Basalt - H<sub>2</sub>O haben gezeigt, daß Ca-Amphibole bei 600–800°C bis zu 25 kbar stabil sind (ESSENE et al., 1970; PAWLEY & HOLLOWAY, 1993; LIU et al., 1996). Untersuchungen an Ultra-Hochdruckgesteinen in den Westalpen, China und Norwegen haben gezeigt, daß auch Na-Amphibole wie Glaukophan [ $\square$ Na<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>] und Nyböit [NaNa<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>7</sub>AlO<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>] bei sehr hohen Drücken (> 25–30 kbar) und Temperaturen (600–800°C) stabil sind, obwohl die Zusammensetzung dieser Amphibole deutlich von der des stöchiometrischen Glaukophans abweicht (CHOPIN, 1986; SCHERTL et al., 1991; ZHANG & LIOU, 1994). Diese Beobachtungen stimmen mit früheren experimentellen Untersuchungen an Glaukophan überein, die zeigen, daß dieser bei Drücken über 30 kbar noch stabil ist und seine chemische Zusammensetzung im wesentlichen einer Mischungsreihe zwischen Glaukophan - Nyböit ± Cummingtonit entspricht (ERNST, 1961; MARESCHE, 1973, 1977; KOONS, 1982; CARMAN & GILBERT, 1983; PAWLEY, 1992; WELCH & GRAHAM, 1992).

Es gibt im wesentlichen drei wichtige Glaukophan-out Reaktionen im Na<sub>2</sub>O-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-System (NMASH), welche das Stabilitätsfeld von Glaukophan begrenzen:

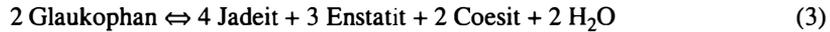
I. Hochdruck-Glaukophan-out-Reaktion



II. Niederdruck-Glaukophan-out-Reaktion



III. Hochtemperatur-Glaukophan-out-Reaktion



Reaktion (1) wurde von CARMAN & GILBERT (1983) untersucht und ein experimentelles Bracket zwischen 35 und 37 kbar bei 800°C ermittelt. Reaktion (2) wurde von PAWLEY (1992) bearbeitet, wobei sie experimentelle Brackets bei 700°C und 14.8–18.5 kbar und 800°C und 18.2–19.5 kbar fand. Reaktion (3) wurde noch nicht bearbeitet.

Obwohl Glaukophan ein wichtiges Indexmineral in den Hochdruckgesteinen ist, und auch für Berechnungen mit thermodynamischen Datenbasen (BERMAN, 1988; HOLLAND & POWELL, 1998) herangezogen wird, sind wichtige thermodynamischen Daten wie ΔGf, die freie Gibbs'sche Energie von Glaukophan bei Standardbedingungen (1 bar, 25°C), nur ungenügend bekannt. Dies ist zum Teil auf widersprüchliche Ergebnisse in früheren Experimenten, als auch auf Probleme experimenteller und analytischer Natur (langsame Reaktionsraten, kleine Korngrößen der synthetischen Amphibole und daher wenige Mikrosondenanalysen) zurückzuführen.

Die in diesem Vortrag präsentierten Untersuchungen hatten das Ziel, anhand von Piston-Zylinder-Experimenten die chemische Zusammensetzung von Glaukophan bei hohen Drücken und Temperaturen zu untersuchen und mit den natürlichen Na-Amphibolen aus den Ultra-Hochdruckgesteinen zu vergleichen. Im Gegensatz zu fast alle früheren Untersuchungen, bei denen die Experimente mit Gelen oder Oxidmischungen durchgeführt wurden, wurden natürliche und synthetische Startmaterialien, nämlich natürlicher Glaukophan aus der Sesia-Lanzo-Zone, natürlicher Talk aus Tumby Bay, South Carolina, USA, und synthetischer Jadeit, synthetisiert von S. R. Bohlen, verwendet.

## Ergebnisse

Der Vortrag beschäftigt sich mit der Untersuchung der chemischen Variation der Amphibolchemismen bei hohen Drücken und Temperaturen. Diese wurde im Druck- und Temperaturbereich von 20 bis 30 kbar und 700–800°C durchgeführt. Dies führte zu acht Experimenten in Druck- und Temperaturintervallen von 0.5 kbar und 50°C. Im Gegensatz zu früheren Studien wurden die Experimente fast nur ohne Zusatz von H<sub>2</sub>O durchgeführt, da dies (1) zur Bildung von metastabilen Na-Schichtsilikaten und (2) zur Bildung von Schmelzen führen kann. Insgesamt wurden zwei Sets von stöchiometrischen Mineralmischungen, basierend auf Reaktion (1), Quarzfreie (GJT) und Quarz-hältige (GJTQ) Experimente, vorbereitet. Die Dauer der Experimente variierte von 3 bis 17 Tagen.

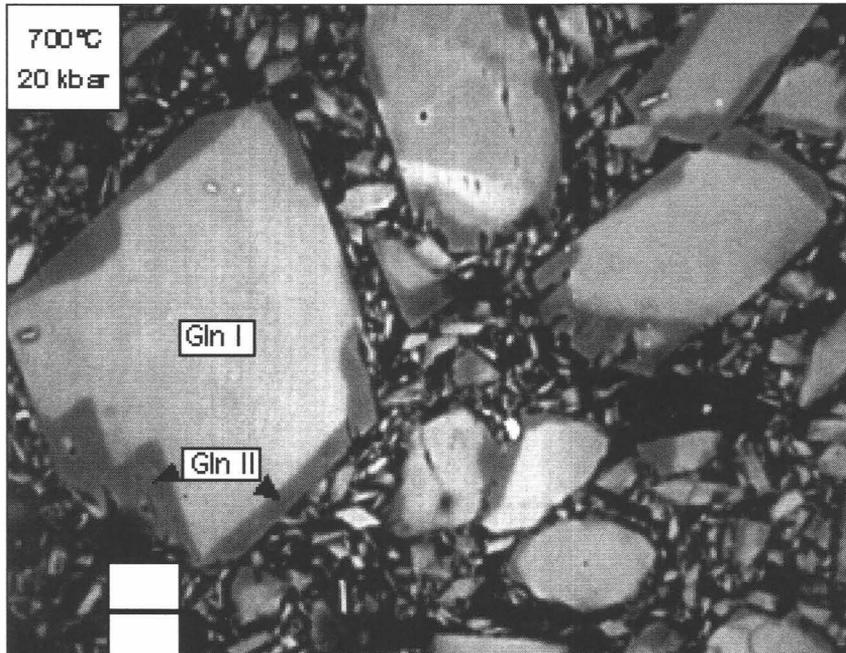


Abb. 1

*BSE (Backscattered Electron)-Bild von synthetischen Na-Amphibolen aus einem Experiment bei 20 kbar und 700°C. Der neugewachsene Amphibol (Gln II) ist aufgrund des geringeren Fe-Gehalts dunkler und bildet schmale Ränder um den Glaukophan aus der Startmischung (Gln I). Der synthetische Amphibol bildet auch die monokline Symmetrie des Glaukophans aus der Startmischung ab.*

*Die Länge des Maßstabs beträgt 10 µm.*

Die neu gewachsenen Amphibole bilden 3-10 nm breite Ränder um die Amphibole der Startmischung (Abb. 1). In Abbildung 1 ist ersichtlich, daß die Korngrenzen zwischen dem alten Glaukophan und dem neugewachsenen Amphibol möglicherweise neben einer Neubildung von Rändern entlang den Korngrenzen auch auf eine diffusive Bildung des neuen Amphibols schließen lassen. In allen Experimenten sinkt der Modalgehalt von Jadeit und Talk aufgrund der Amphibolbildung, in den Experimenten bei 750°C und 800°C bilden sich auch Enstatit und Quarz/Coesit aus dem Talk. Einige Experimente zeigten relativ wenig Amphibolwachstum, vor allem die Experimente bei 700°C und 25 und 30 kbar. Es wurden auch zwei Experimente mit H<sub>2</sub>O als Katalysator durchgeführt, wobei die gleichen Texturen wie in den H<sub>2</sub>O-freien Experimenten zu beobachten sind, aber vermehrt ein Na-hältiges Schichtsilikat auftritt. Die Formeln der Amphibole wurden auf der Basis 24 (O + OH) berechnet und zeigen, daß die Zusammensetzung der neugebildeten Amphibole deutlich von stöchiometrischem Glaukophan abweicht. Dies ist auch aus den energiedispersiven Spektren (EDS) ersichtlich (Abb. 2). Die Zusammensetzung der Amphibole kann im wesentlichen mit den Amphibolspezies Glaukophan - Cummingtonit - "Na-Anthophyllit" - Al-Na Cummingtonit - Nyböit beschrieben werden, welche durch die zwei Substitutionen,  $[\text{Na}^{\text{A}} \text{Al}^{\text{IV}}] \Leftrightarrow [\square^{\text{A}} \text{Si}]^{-1}$  und  $[\text{Mg}^{\text{M}(4)} \text{Mg}^{\text{VI}}] \Leftrightarrow [\text{Na}^{\text{M}(4)} \text{Al}^{\text{IV}}]^{-1}$ , miteinander in Beziehung stehen (Abb. 3).

"Na-Anthophyllit" ist ein hypothetisches monoklines Endglied der Fe-Mg-Amphibolgruppe. Verglichen mit der idealen Formel von Glaukophan,  $\square\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ , zeigen die synthetischen Amphibole beträchtliche  $\text{Al}^{\text{IV}}$ -Gehalte, ebenso ist die Gesamtsumme von Al, ( $\Sigma\text{Al}^{\text{IV}} + \text{Al}^{\text{VI}}$ ), in den meisten Fällen größer als 2 Al apfu. Der Mg-Gehalt ist auch beträchtlich höher als 3 Mg apfu. Der Na-Gehalt ist in den meisten Fällen geringer als 2 Na apfu und die Leerstelle an der A-Position ist teilweise mit Na gefüllt.

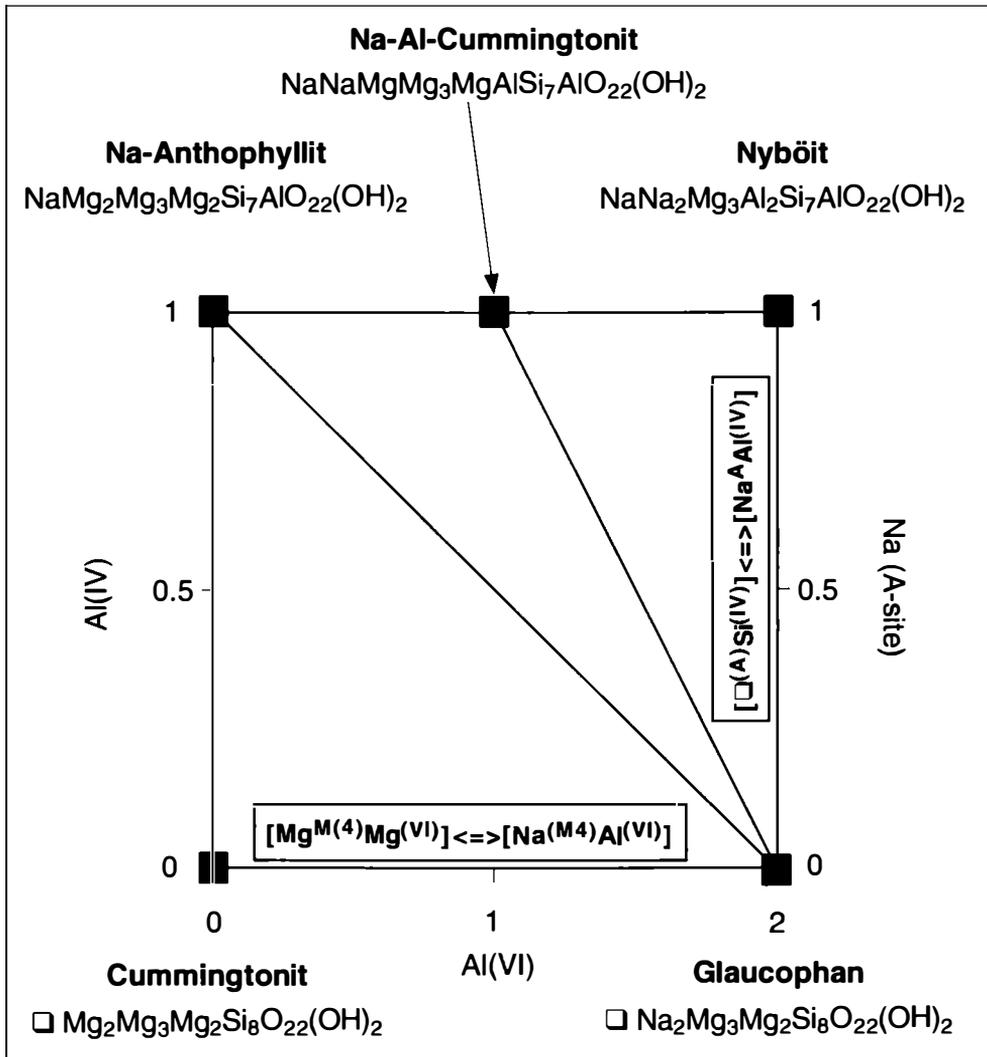


Abb. 2

Namen und Formeln der Amphibol-Endglieder im System  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  (NMASH). In der unteren Abbildung sind ihre Beziehungen entlang den zwei Hauptsubstitutionen dargestellt.

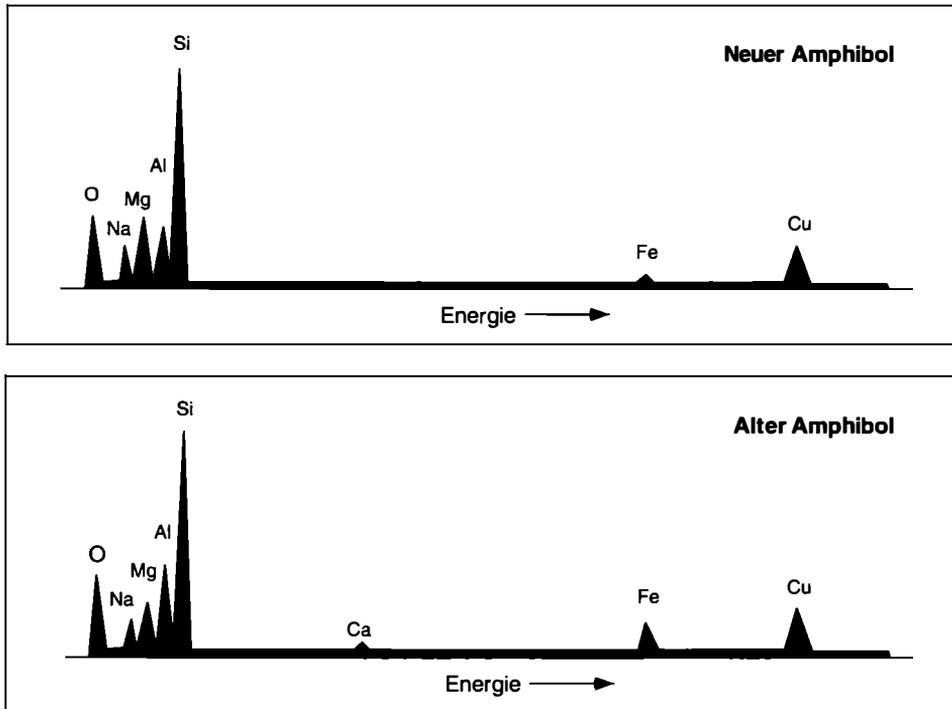


Abb. 3

*Energiedispersive Spektren (EDS) von Glaukophan aus der Startmischung und neu gebildetem, synthetischem Amphibol.*

### Variationen in der chemischen Zusammensetzung der Amphibole mit Druck und Temperatur

Die Experimente zur Untersuchung der Druckabhängigkeit der Zusammensetzung der Amphibole wurden in drei Serien bei konstanten Temperaturen von 700°, 750° und 800°C zwischen 20 und 30 kbar durchgeführt. Die Experimente zur Untersuchung der Temperaturabhängigkeit der Zusammensetzung der Amphibole wurden ebenfalls in drei Serien bei konstanten Drücken von 20, 25 und 30 kbar zwischen 700°C und 800°C durchgeführt.

**Si:** Der Si-Gehalt der Amphibole steigt mit steigendem Druck in den Experimenten von 20 kbar bis 30 kbar an. In den Experimenten bei 700°C bleibt er mit steigendem Druck konstant. Ein Temperaturanstieg von 700°C nach 800°C hat ein Abfallen des Si-Gehaltes zur Folge.

**Al:** Der Al-Gehalt sinkt mit steigendem Druck von 20 bis 30 kbar. Ein Temperaturanstieg von 700°C nach 800°C hat einen leichten Anstieg des Al-Gehaltes zur Folge. Al<sup>IV</sup> ist invers mit Si korreliert, während Al<sup>VI</sup> keine Korrelation mit dem Druck zeigt und mit steigender Temperatur sinkt.

**Mg:** Der Mg-Gehalt zeigt keine Korrelation mit steigendem Druck, steigt aber mit steigender Temperatur von 700°C nach 800°C an. Da Al<sup>VI</sup> mit steigender Temperatur abnimmt, nimmt Mg auf M(123) zu. Der Mg-Gehalt auf M(4) nimmt auch mit steigender Temperatur zu.

*Na:* Der Na-Gehalt auf der A-Position fällt mit steigendem Druck in den Experimenten von 20 kbar bis 30 kbar. Mit steigender Temperatur von 700°C nach 800°C steigt er an. Der Na-Gehalt auf M(4) zeigt keine Korrelation mit steigendem Druck, sinkt aber mit steigender Temperatur.

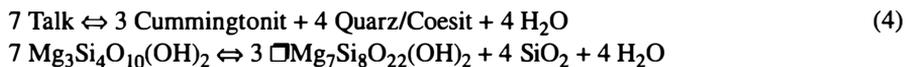
*Gekoppelte Substitutionen:* Die Edenit-Substitution  $[\text{Na}^{\text{A}} \text{Al}^{\text{IV}}] \Leftrightarrow [\square^{\text{A}} \text{Si}]^{-1}$  nimmt mit steigendem Druck ab und nimmt mit steigender Temperatur zu, was auf einen Abfall der Nyböit- und Al-Na-Cummingtonit Komponente mit steigendem Druck und fallender Temperatur hinweist. Mit steigendem Druck kommt es zu einem Anstieg der Glaukophan Komponente, die aber leicht nach Cummingtonit hin verschoben ist. Die Ergebnisse zeigen, daß die Nyböit-Substitution dominant ist, übereinstimmend mit den Ergebnissen aus den Untersuchungen von PAWLEY (1992) und WELCH & GRAHAM (1992). Die Zusammensetzung der synthetischen Amphibole ist auch ähnlich der Zusammensetzung der natürlichen Glaukophane aus den Ultra-Hochdruckgesteinen der Westalpen (Dora Maira) in Italien und den Dabie Shan- und Su-Lu-Komplexen aus China.

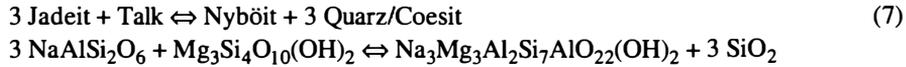
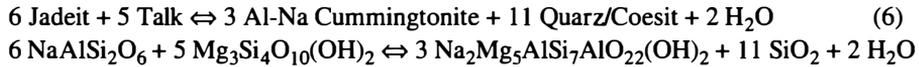
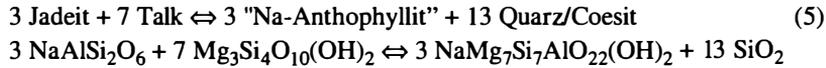
### Hinweise auf Gleichgewicht in den Experimenten

Da sich der Gleichgewichtszustand in den Experimenten nicht direkt nachweisen läßt, wurden chemische und mikrostrukturelle Kriterien angewendet, um eine mögliche Annäherung an die Gleichgewichtszusammensetzung der Amphibole in den Experimenten nachzuweisen. Hierfür wurden (1) Experimente mit verschiedener Dauer, von 50 bis 240 Stunden, durchgeführt; (2) Re-Equilibrierungsexperimente, wobei eine Kapsel verschiedenen Druck- und Temperaturbedingungen ausgesetzt wurde um die Re-Equilibrierung der chemischen Zusammensetzung der Amphibole zu untersuchen und (3) die Mikrostruktur der synthetischen Amphibole mittels des Transmissionselektronenmikroskopes an einer Probe aus einem Experiment bei den niedrigsten Drücken und Temperaturen (20 kbar, 700°C) auf "wide chain pyriboles" hin untersucht. Alle diese Untersuchungen weisen auf eine Annäherung an die Gleichgewichtszusammensetzung in den Experimenten hin.

### Diskussion

Die synthetischen Amphibole in beiden experimentellen Untersuchungen weichen von stöchiometrischem Glaukophan unterschiedlich stark ab. Eine der Ursachen könnte sein, daß die Minerale Jadeit + Talk in der Startmischung mehrere Amphibol-Spezies puffern und die synthetischen Na-Amphibole daher vom idealen Glaukophan vorwiegend durch die zwei Hauptsubstitutionen,  $[\text{Na}^{\text{A}} \text{Al}^{\text{IV}}] \Leftrightarrow [\square^{\text{A}} \text{Si}]^{-1}$  nach Nyböit und  $[\text{Mg}^{\text{M}(4)} \text{Mg}^{\text{VI}}] \Leftrightarrow [\text{Na}^{\text{M}(4)} \text{Al}^{\text{IV}}]^{-1}$  nach Cummingtonit, abweichen. Die Amphibol-Spezies werden durch die Reaktion (1) und die folgenden Reaktionen gepuffert:





Der Chemismus der synthetischen Amphibole, vor allem der Si-Gehalt und der Na-Gehalt auf der A-Position, variieren sehr stark mit Druck und Temperatur. Diese Veränderungen in der Zusammensetzung der Amphibole wiederum führt zu einem Ansteigen der Aktivität der Glaukophankomponente bei steigendem Druck und sinkender Temperatur. Die Re-Equilibrierungsexperimente und TEM Untersuchungen weisen auf eine mögliche Einstellung von Gleichgewicht in den Experimenten hin. Eine Anwendung dieser Daten findet sich in der Thermobarometrie, wobei die AlIV-Isoplethen im untersuchten P-T- Raum die Grundlage bilden.

### Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft für die Einladung zu diesen Vorträgen und für die Möglichkeit der Publikation des Vortragsmanuskripts bedanken. Diese Arbeit wurde von den NSF Projekten EAR 95-26596 und EAR 92-05649 an Eric J. Essene und EAR 94-05999 an Craig E. Manning, einem Stipendium des Österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung, und Stipendien des Internationalen Institutes der Universität Michigan, dem Turner Fund des Institutes für Geologie an der Universität von Michigan, und der Geological Society of America an den Erstautor unterstützt. In diesem Zuge möchte ich mich auch bei Heather Lin, Tom LaTourette und Kurt Knesel für ihre Hilfe im Piston-Zylinder Labor der UCLA, Professor Wayne Dollase für die Hilfestellung am Röntgendiffraktometer, und Frank Kyte und Patricia Weston für ihre Hilfe an der Mikrosonde bedanken.

### Literatur

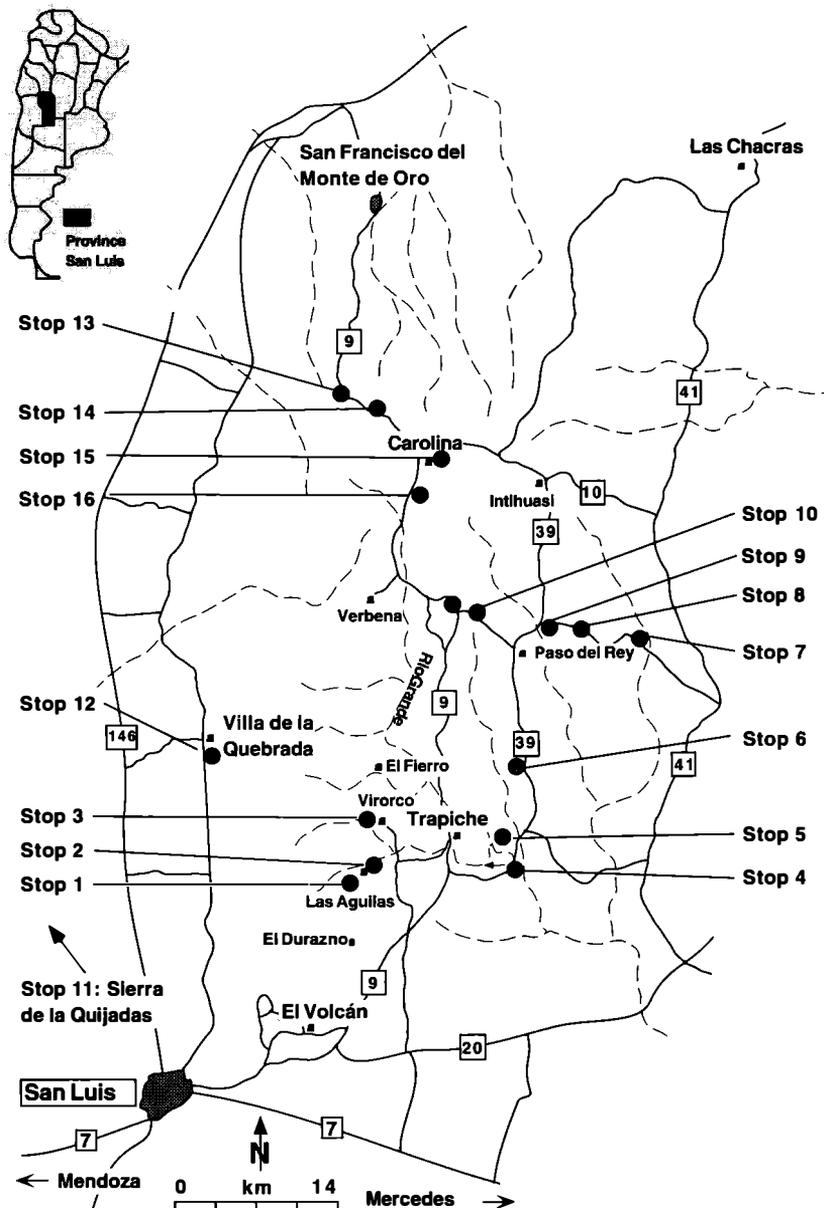
- BERMAN, R. G. (1988): Internally consistent thermodynamic data in the system  $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ . - *J. Petrol.* 29, 445-522.
- CARMAN, J.H. & GILBERT, M.C. (1983): Experimental studies on glaucophane stability. - *Am. J. Sci.*, 283A, 414 - 437.
- CARSWELL, D.A. (1990): Eclogites and the eclogite facies: definitions and classifications. In: CARSWELL, D.A. (ed.) *Eclogite Facies Rocks*, Blackie NY, pp 1-13.
- CHOPIN, C. (1986): Phase relationships of ellenbergerite, a new high pressure Mg-Al-Ti silicate in pyrope-coesite quartzite from the Western Alps. - *Geol. Soc. Am. Mem.*, 164, 31-42.
- ERNST, W.G. (1961): Stability relations of glaucophane. - *Am. J. Sci.*, 259, 735-765.

- ESSENE, E.J., HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. (1970): Experimental study of amphibolite and eclogite stability. - *Phys. Earth. Planet. Int.*, 3, 378-384.
- HOLLAND, T. J. B. & POWELL, R. (1998): An internally-consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. - *J. Metam. Geol.*, 8, 89-124.
- KOONS, P.O. (1982): An experimental investigation of the behavior of amphibole in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  at high pressures. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 79, 258-267.
- LIU, J., BOHLEN, S.R. & ERNST, W.G. (1996): Stability of hydrous phases in subducting oceanic crust. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 143, 161-171.
- MARESCH, W.M. (1973): New data on the synthesis and stability relations of glaucophane. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 20, 385-390.
- MARESCH, W.M. (1977): Experimental studies on glaucophane: an analysis of present knowledge. - *Tectonophysics*, 43, 109-125.
- MARUYAMA, S., LIOU, J.G. & TERABAYASHI, M. (1996): Blueschists and eclogites of the world and their exhumation. - *Int. Geol. Rev.*, 38, 485-563.
- PAWLEY, A.R. (1992): Experimental study of the compositions and stability of synthetic nyböite and nyböite-glaucophane amphiboles. - *Eur. J. Min.*, 4, 171-192.
- PAWLEY, A.R. & HOLLOWAY, J.R. (1993): Water sources for subduction zone volcanism: new experimental constraints. - *Science*, 260, 664-667.
- SCHERTL, H.P., SCHREYER, W. & CHOPIN, C. (1991): The pyrope-coesite rocks and their country rocks at Parigi, Dora Maira Massif, Western Alps: detailed petrography, mineral chemistry and PT-path. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 108, 1-21.
- WELCH, M.D. & GRAHAM, C.M. (1992): An experimental study of glaucophanic amphiboles in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{SiF}_4$  (NMAF): some implications for glaucophane stability in natural and synthetic systems at high temperatures and pressures. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 111, 248-259.
- ZHANG, R.Y. & LIOU, J.G. (1994): Coesite-bearing eclogite in Henan Province, central China: detailed petrography, glaucophane stability and P-T path. - *Eur. J. Min.*, 6, 217-233.

bei der Redaktion eingegangen: März 2000

Manuskript angenommen: 4. April 2000

# EXKURSIONEN



**MITT.ÖSTERR.MINER.GES. 145 (2000)**

**GEOLOGIE-, PETROLOGIE- UND LAGERSTÄTTEN-EXKURSION  
NACH ZENTRAL-ARGENTINIEN**

von

**A. Mogessie, A. Felfernig, C.A. Hauzenberger, G. Monsberger,  
E. Domej, E. Povoden, J. Schafflechner, T. Leber, P. Ofner,  
P. Wilflingseder, R. Rabitsch & U. Koch**

Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie  
Karl-Franzens Universität Graz, A-8010 Graz

**E. Bjerg & D. Gregori**

Departemento de Geologia  
Universidad Nacional del Sur, San Juan 670, Argentinien

**R. Lira & R. Martino**

Departemento de Geologia  
Universidad Nacional de Cordoba, Av. Velez Sarsfeld 299, Argentinien

Exkursion Februar - März 1999

## 1. VORWORT

Im Jahre 1992 wurde ein geowissenschaftliches Projekt (FWF-P9564-PHY) mit dem Thema "A preliminary study of the metamorphism and associated mineralization of the Mendoza-Cordoba areas of the Argentinian Cordilleras and Pampean Ranges" beim FWF beantragt. Mit finanzieller Unterstützung des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), der Steiermärkischen Landesregierung und des Büros für Auslandsbeziehungen war es G. Hoinkes und A. Mogessie möglich, in Argentinien für vier Wochen (Sept. - Okt. 1993) Geländearbeiten mit den argentinischen Kollegen E. Bjerg (Univ. Bahia Blanca), R. Lira (Univ. Cordoba) und D. Mutti (Univ. Buenos Aires) durchzuführen. In dieser Voruntersuchung wurde in Zusammenarbeit mit argentinischen Kollegen ein Ost-West-Profil von den Sierras Pampeanas bis an die Anden im Bereich Cordoba - Mendoza petrologisch und geochemisch bearbeitet.

Anhand der Geländebeobachtungen und der Ergebnisse der Voruntersuchung wurde das Gebiet zwischen El Trapiche im Süden und La Carolina - San Francisco del Monte de Oro im Norden (San Luis Provinz, Central Argentinien) als ideales Gebiet ausgewählt. Mit Hilfe der Gelände- und Laborergebnisse der Voruntersuchung wurde ein gesondertes Projekt mit dem Titel "Metamorphism and Mineralization of the Basement and intercalated mafic-ultramafic rocks: La Carolina - San Francisco del Monte de Oro area, San Luis Province, Central Argentina" im Jahr 1994 beantragt. Dieser FWF-Antrag (P10623-TEC) wurde im Jahr 1995 genehmigt und die Forschungsarbeit am 2. Okt. 1995 begonnen und am 30.09.1998 abgeschlossen. Die Geländearbeiten in Argentinien wurden von A. Mogessie, G. Hoinkes, C. Hauzenberger (Dissertant) und A. Felfernig (Diplomandin) gemeinsam mit unserem argentinischen Kollegen, Herrn E. Bjerg (Universität Bahia Blanca), und seinem Arbeitsteam durchgeführt. Für weiterführende petrologische und geochemische Laboruntersuchungen wurden die gesammelten Proben nach Graz geschickt und wissenschaftlich bearbeitet.

Nach Abschluß dieses FWF-Forschungsprojekts wurde in Zusammenarbeit mit unseren argentinischen Kollegen (E. Bjerg und D. Gregori, Universität Bahia Blanca; R. Lira und R. Martino, Universität Cordoba) diese Exkursion organisiert und vom 15. Februar bis 4. März 1999 durchgeführt. Dieser Exkursionsbericht wurde von drei Gruppen fertig gestellt (Cordoba Gebiet: G. Monsberger, P. Ofner, T. Leber, E. Povoden; San Luis Gebiet: C. Hauzenberger, J. Schaflechner, U. Koch; Mendoza Gebiet: A. Felfernig, E. Domej, R. Rabitsch, P. Wilflingseder). Wir danken J. Kostadinoff und seinem Assistenten A. Raniolo (Universität Bahia Blanca) für ihre Einführung in geophysikalische Explorationsmethoden im San Luis Gebiet. Darüber hinaus danken wir der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Graz für die finanzielle Unterstützung und dem Geologischen Institut der Universität Bahia Blanca, Argentinien, für die Logistik.

Für Korrektur und sorgfältige Durchsicht des Manuskriptes danken wir F. Koller.

## 2. EINFÜHRUNG IN DIE GEOLOGIE SÜDAMERIKAS

Die tektonische Entwicklung Westgondwanas wird von den Geschehnissen um den Brasiliano/Westafrikanischen-Zyklus bestimmt, der das gesamte Spätproterozoikum umfaßt und an der Kambrium-Ordovizium-Grenze endet. Einer der wichtigsten Entwicklungszyklen für den stabilen Südamerika Schild ist der Brasiliano-Zyklus. Während der NW-Teil als eine sehr große Kontinentalplatte fungiert, enthält der SO-Teil eine Serie von kleinen Fragmenten kontinentaler Platten bzw. Mikrokontinente (Kratone), magmatische Bögen und allochthone Gebiete (de BRITO

NEVES & CORDANI, 1991). Das Brasiliano-Gebiet umfaßt auch die Pan-Afrika-Gegenstände die gemeinsam mit den Brasiliano Gebieten bei der Verschmelzung Westgondwanas als Folge einer komplizierten Kollision und Anpassung von großen Kontinentalmassen angesehen werden kann.

Der darauffolgende Famatinia-Zyklus (Ordovizium–frühes Karbon) ist geprägt von weitläufiger Akkretionstektonik und der Ausbildung der argentinischen Precordillaren und der Sierras Pampeanas im Süden und der Puna im Norden (RAMOS, 1988). Ultramafische Gesteine am Westende der Sierras Pampeanas werden als nahe der Subduktionszone gebildet angesehen und somit als Suture zwischen den Sierras Pampeanas und den Precordillaren interpretiert. Im weiteren Verlauf der Entwicklung des Kontinents wandert die Subduktionszone (und somit die Orogenese) kontinuierlich westwärts und ist in weiterer Folge verantwortlich für die Bildung der Anden (Andockung des Chile Terranes, Ausbildung magmatischer Gürtel).

Die wichtigsten tektonischen Einheiten von E nach W bestehen aus: a) Sierras Pampeanas, b) Precordillera, c) Cordillera Frontal (Bloque de San Rafael in Argentinien), d) Principal Cordillera und e) Coastal Cordillera.

Ab dem Mesozoikum bis rezent spielt die Subduktion der segmentierten Nazca-Platte, die diesem Bereich nahezu horizontal die Sierras Pampeanas unterlagert (JORDAN et al., 1983), die Andenbildung bzw. -tektonik die entscheidende Rolle für die weitere Entwicklung.

### **3. CORDOBA PROVINZ**

#### **3.1 Geologie der Sierras Pampeanas von Cordoba**

Die Sierras Pampeanas von Cordoba sind die östlichsten Ausläufer der gesamten Sierras Pampeanas, die im wesentlichen aus 3 verschiedenen Bergketten bestehen: a) Sierra Norte (Norte), b) Sierra Chica (Kleine Sierra) und c) Sierra Grande de Achala.

Die aktuelle Morphologie der Sierras von Cordoba (Abb. 1) ist vor allem von der westwärts gerichteten Tektonik (flache Subduktion der Nazca Platte) geprägt, die während der Andenoro-genese (Plio- bis Pleistozän) stattgefunden hat. Während dieser Zeit wurden die gesamten Sierras von Cordoba von Westen nach Osten aufgeschoben, gehoben, verengt und rotiert. Die Sierras von Cordoba stellen in morphologischer Hinsicht N-S bzw. NNO-NO streichende Bruchsegmente dar, die durch steil nach Osten einfallende Brüche (40° - 60°) begrenzt werden.

Das Basement der Sierras Chica und Sierras Grande von Cordoba (Abb. 1) besteht aus Phylolithen, (Diopsid-) Marmoren, Para- und Orthogneisen, Granuliten, Migmatiten, Anatexiten, Lithonmatiten und Graniten, sowie aus mafischen und ultramafischen Gesteinen. Im Allgemeinen steigt der Metamorphosegrad von Westen nach Osten an. Die San Roque Gruppe im westlichen Teil der Sierra Chica (Abb. 1) besteht aus Glimmerschiefern, Amphiboliten, während man in der Diquecito Gruppe (östlich der San Roque Gruppe) Migmatite, Orthopyroxen-Granulite, Gneise und Diopsidamphibolite findet.

Die Sierra Grande von Cordoba besteht hauptsächlich aus dem Achala-Batholith, der erst von PASTORE (1932) beschrieben wurde. Der Achala Batholith liegt zwischen der Sierra Chica im Osten und der Sierra de Pocho im Westen (Abb. 1). Die längste Achse des elliptischen Intrusivkörpers erstreckt sich 105 km lang Richtung Norden. Seine Größe beträgt 2500 km<sup>2</sup>.

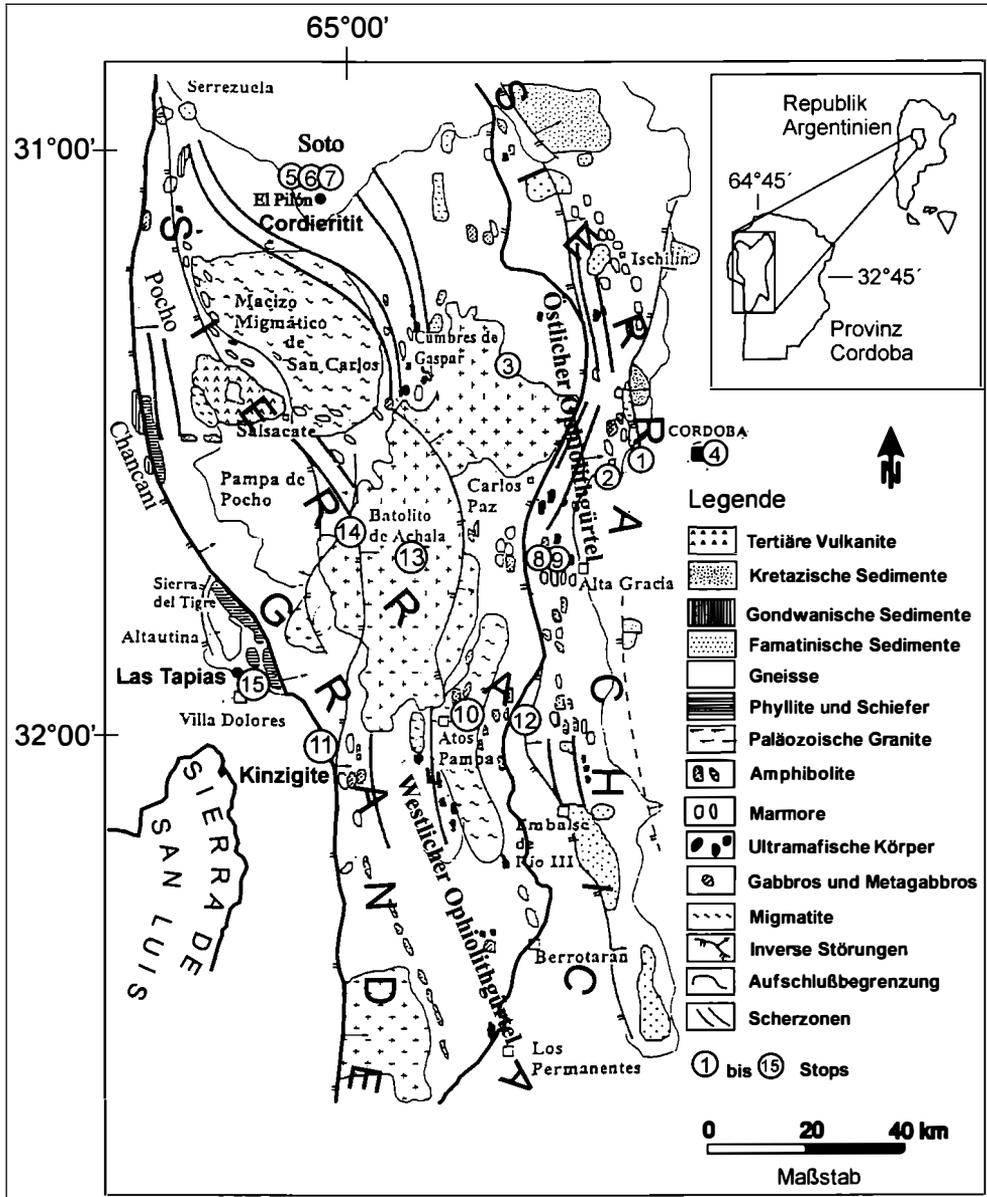


Abb. 1  
Geologische Karte des Cordoba Gebiets (nach ESCAYOLA et al., 1996) mit allen Exkursions-Stops.

Der Batholith intrudierte in ein spätpräkambrisches, amphibolit- bis granulitfaziell metamorphes Basement. Basierend auf radiometrischen und geochemischen Daten teilten DEMANGE et al. (1993) den Achala-Batholith in 4 unterschiedliche Suiten ein (Abb. 2):

a) Achala-Suite, b) Characato-Suite, c) Champaqui-Suite und d) Cumbrecita-Suite.

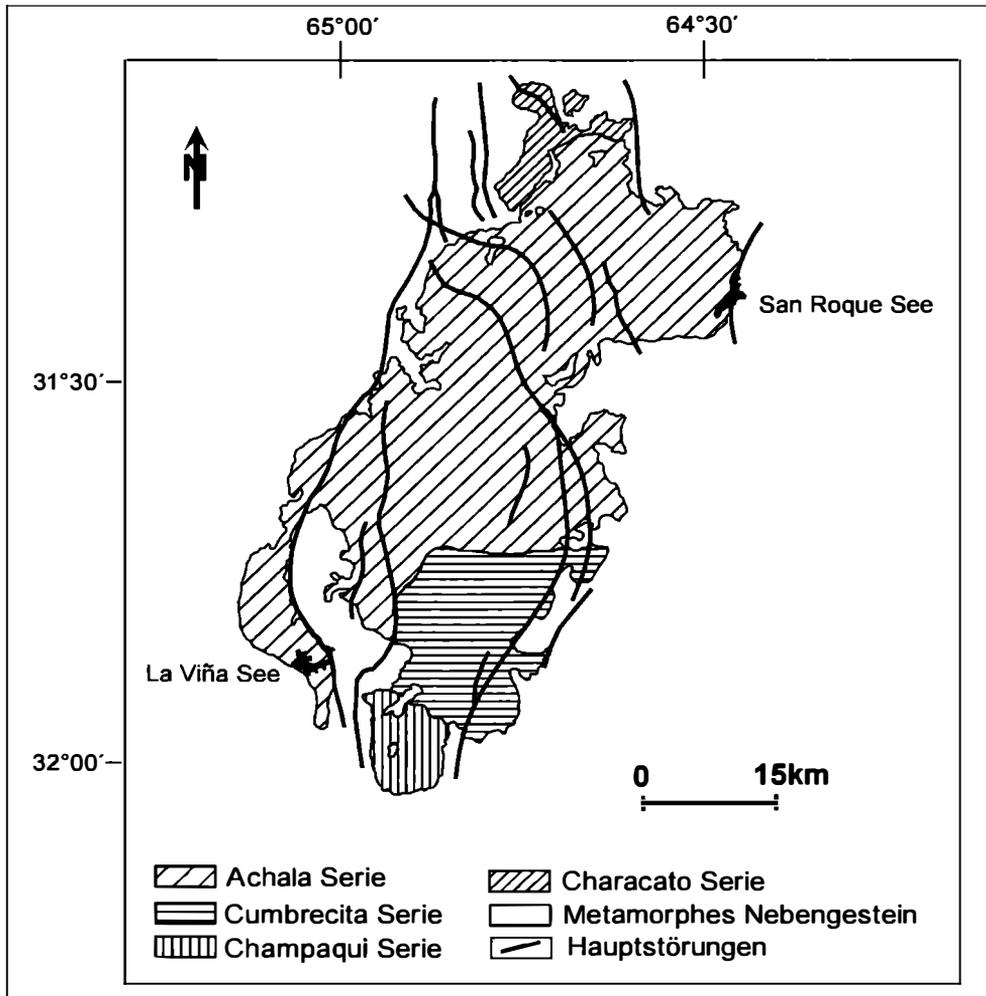


Abb. 2

Gliederung des Achala-Batholiths. Modifiziert nach DEMANGE et al. (1993).

Die Kontakte zwischen den einzelnen Suiten sind intrusiv oder tektonisch, und jede einzelne Suite besteht aus mehreren Faziesbereichen von tonalitischen über granodioritischen bis hin zu leucogranitischen Gesteinen. Die Achala-Suite stellt die Hauptserie des Batholiths mit einem Flächenanteil von etwa 70% dar. Der Kontakt des Intrusivs mit dem metamorphen Nebengestein ist regional scharf und diskordant.

Eine Kontaktaureole mit Hornblende-Hornfels-faziellen Cordierit- und Andalusit-führenden Gesteinen ist in mehreren Bereichen dokumentiert (z.B. GORDILLO & LENCINAS, 1979). Eine geringe Intrusionstiefe wird durch das Auftreten von Andalusit angezeigt. Uraninit-führende kontaktmetamorphe Gesteine mit Cordierit und Andalusit wurden in der westlichen Kontaktzone beschrieben. Häufig findet man "roof pendants" vor allem in kontaktnahen Bereichen. Dies deutet darauf hin, daß sich das jetzige Erosionsniveau nahe dem Dach des Intrusivs befindet.

Innerhalb der Sierras Grande von Cordoba treten häufig Pegmatite auf, die aus Quarz, Mikroklin, Plagioklas und Muskovit bestehen. Zum Teil treten wirtschaftlich interessante Mineralvorkommen von Beryllium, Lithium und Wolfram auf. Der Las-Tapias-Pegmatit im Südwesten des Achala-Batholiths bildet die wichtigste Berylliumlagerstätte Argentiniens. Weiters treten bis zu 4 m lange Spodumenkristalle auf. Im Cerro-Blanco-Pegmatit und Mallin-Pegmatit im Nordosten wurden vor allem Quarz, Feldspat und Beryll sowie Columbit-Tantalit abgebaut.

Die mafischen und ultramafischen Körper der Sierras de Cordoba (siehe Abb. 1) kommen in zwei getrennten Zügen mit steil nach Osten einfallenden Schichten vor. Petrographische und geochemische Signaturen (ESCAYOLA et al., 1996) lassen für diese Komplexe zwei verschiedene geotektonische Milieus und dadurch zwei verschiedenen Ophiolithtypen erkennen.

Der östliche mafisch-ultramafische Gürtel (Faja oriental) besteht im wesentlichen aus Lherzoliten und Websteriten. Der westliche mafisch-ultramafische Gürtel (Faja occidental) besteht aus Harzburgiten, Kumulatgabbros und podiformen Chromiten. Das Alter der Einheiten wird je nach Autor mit Spätpräkambrium bis Kambrium angegeben.

### **3.2 Deformations- und Metamorphoseereignisse des Basements der Sierras Pampeanas in Cordoba**

Mit den Deformations- und Metamorphoseereignissen der Sierras Pampeanas in Cordoba befaßten sich vor allem GORDILLO & LENCINAS (1979), GORDILLO (1984), DALLA SALDA (1984a-b, 1987), MARTINO (1988), DEMANGE et al. (1993), CAFFE (1993), CAFFE & BALDO (1996):

a) Bei einer ersten Metamorphose M1 kommt es unter amphibolitfaziellen Bedingungen zur Bildung von Sillimanit, Granat, Biotit, b) die zweite Metamorphose M2 ist durch Temperaturen von 650°C–700°C und Drucken von 5.5–6.0 Kb gekennzeichnet. Am Höhepunkt dieser Metamorphose bilden sich große migmatische Bereiche mit der Paragenese Cordierit-Granat-Kalifeldspat, c) die dritte und letzte Metamorphose M3 zeigt niedrige Temperaturen und ist retrograd. Es kommt zur Chloritisierung von Granat und Serizitisierung von Feldspat.

Während der beiden ersten Metamorphoseereignisse gab es mindestens drei Perioden magmatischer Aktivität in Form von Intrusionen. Die erste bzw. zweite Deformation findet synchron zu M1 und M2 statt. Es handelt sich hauptsächlich um duktile Deformationen, wobei nach der Metamorphose M2 eine Foliation ausgebildet wird.

### **3.3 Petrologische und geochemische Untersuchungen des Achala-Batholiths**

Der peraluminöse Charakter des Achala-Batholiths wird deutlich durch den durchschnittlichen normativen Korundgehalt von mehr als 3%, niedrigen CaO-Werten, sowie das weit verbreitete Vorkommen von Muskovit und Granat. Im AFM-Diagramm plotten die Granitoide im hochdifferenzierten kalkalkalinen Bereich (Abb. 3).

Die geochemischen Daten deuten darauf hin, daß die Gesteinstypen des Achala-Batholiths alle zur selben magmatischen Serie gehören und daß ihre Bildung auf fraktionierte Kristallisation zurückzuführen ist. Die Granitoide lassen sich aufgrund folgender Belege als S-Typ-Granitoide charakterisieren (CHAPPELL & WHITE (1974), PITCHER (1982), WHITE et al. (1977)):

a) hohes  $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ -Verhältnis, b) Fehlen von Hornblende und Vorkommen von Muskovit und Granat und c) begrenzter Bereich der chemischen Zusammensetzung und hohe Quarzgehalte. Die Granitoide plotten als Within Plate-Granite im Y-SiO<sub>2</sub>-Diagramm (Abb. 4) und im Rb-SiO<sub>2</sub>-Diagramm nach PEARCE et al. (1984) (Abb. 5).

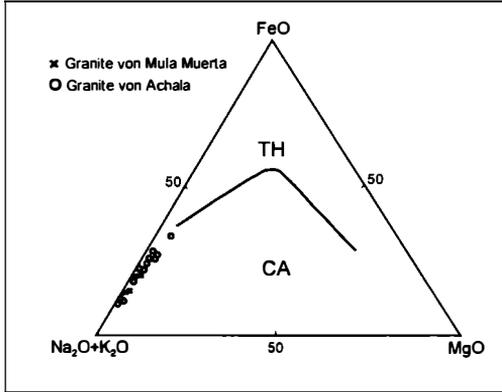


Abb. 3

Charakterisierung der Gesteine des Achala-Batholiths im AFM-Diagramm. Modifiziert nach LIRA & KIRSCHBAUM (1990).

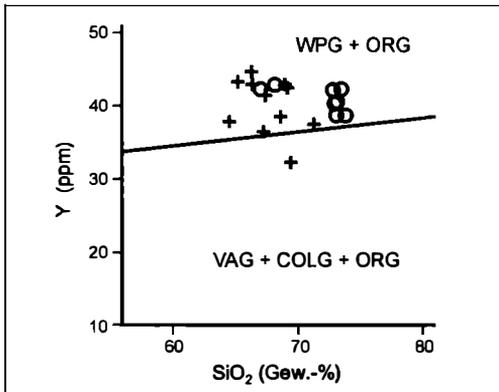


Abb. 4

Y-SiO<sub>2</sub>-Plot für Gesteine der Achala-Suite, Legende wie in Abb. 3. Modifiziert nach LIRA & KIRSCHBAUM (1990).

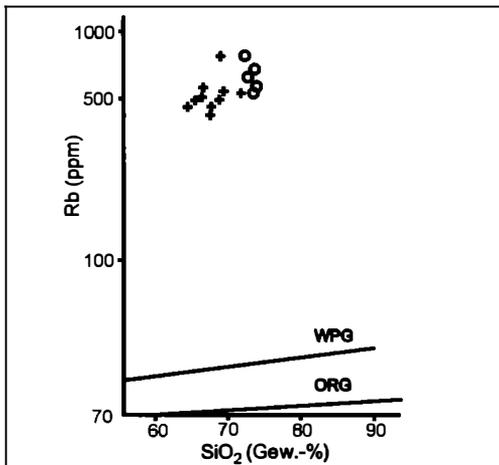


Abb. 5

Rb-SiO<sub>2</sub>-Plot für Gesteine der Achala-Suite, Legende wie in Abb. 3. Modifiziert nach LIRA & KIRSCHBAUM (1990).

### 3.4 Niederdruck-Anatexis im El-Pilon-Komplex, nördliche Sierras Grande (San-Carlos-Komplex)

Im granitischen Komplex von El Pilon südlich von Soto (siehe Abb. 1) befinden sich spektakuläre Cordieritvorkommen. Es handelt sich dabei um Gesteine, die bis zu 95 % aus Cordierit bestehen. Nach einem Model von RAPELA et. al. (1997) wurden diese Gesteine während einer Hochtemperatur-Niederdruck-Metamorphose gebildet, welche in weiten Bereichen der Sierras de Cordoba zur Bildung von partiellen Schmelzen geführt hat.

Die maximalen P-T-Bedingungen ( $P = 5.7 \pm 0.4$  kb,  $T = 820^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ ) dieser granulitfaziellen Prägung findet man im Bereich der östlichen Sierras de Cordoba. U-Pb und Rb-Sr-Datierungen geben für dieses Ereignis ein Alter von ca. 520 - 530 Ma. Der El-Pilon-Komplex umfaßt ein Gebiet von ca. 80 km<sup>2</sup> und kann wie folgt untergliedert werden: a) Der Großteil des Komplexes besteht aus Sill-Crd-Bt-führendem porphyrischem Anatexit. Der Körper zeigt einen scharfen Kontakt zum Umgebungsgestein (hochgradige Metasedimente). Weiters findet man Xenolithe des Nebengesteins und Biotit-Sillimanit-Knauern, b) im NE des El Pilon ist ein Bereich von ca. 2.7 km<sup>2</sup> einer Leukogranitfazies (Sill-Crd-Bt-Gt-führender Monzogranit) aufgeschlossen, c) im Leukogranit stecken vier Cordierit-Körper, die eine Längserstreckung von bis zu 140 m erreichen (Abb. 1: Lokalität Cordieritit) und d) Leukogranit und Anatexit werden von granitischen Gängen durchdrungen.

Die Cordierite liegen als vier längliche Körper im Leukogranit vor. Sie sind aus 5 - 40 cm großen "eiförmigen Gebilden" (orbikulare Cordierite) aufgebaut, die einen dunklen Kern, bestehend aus orientiertem Biotit, Sillimanit, Cordierit  $\pm$  Feldspat, besitzen. Dieser Kern wird von einem Saum von grobkörnigen Cordierit-Kristallen (ca. 1-2 cm)  $\pm$  Quarz  $\pm$  Plagioklas ( $An_{20-26}$ ) umgeben (siehe Abb. 6). Diese Konkretionen "schwimmen" in einer Matrix aus Leukogranit (Quarz, perthitischer Kalifeldspat und Plagioklas). Neben der orbikularen Varietät gibt es auch massive Cordierite, die aus 90-95% Cordierit bestehen. Sie zeigen Übergänge zu dunkleren Bereichen, die modal bis zu 40% Biotit enthalten können. Als häufige Akzessorien werden Apatit, Zirkon und Turmalin beschrieben. Die Cordierit-Körper führen Xenolithe von porphyrischem Granit und zeigen scharfe Grenzen zu inselförmig aufgeschlossenen Schiefen (Biotit, Quarz, Plagioklas und Kalifeldspat). Es existiert deutliche strukturelle Evidenz für eine Intrusion der Cordierite in den Leukogranit bzw. in die Schiefer. Geologische, geochemische und Isotopendaten zeigen, daß zwischen dem Anatexit, dem Leukogranit, den Cordieriten und dem Umgebungsgestein (hochgradige Metapelite) eine enge Verwandtschaft besteht. Aus diesen Indizien schließen RAPELA et.al. (1998), daß der Leukogranit, die pegmatitische Fazies und die Cordierite durch eine partielle Aufschmelzung von Metasedimenten im Dachbereich des Granitkörpers unter niedrigen Drücken entstanden sind. Die Modellreaktion für diesen Schmelzprozeß kann wie folgt angegeben werden:



Ablauf der Reaktion: Große Cordieritkristalle (Mg-reich,  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) = 66$ ) wachsen bis ein Edukt-mineral verbraucht ist (z.B. Plagioklas). Der neugebildete Cordierit sammelt sich um einen restitischen Kern von Biotit und Sillimanit ( $\pm$  Cordierit  $\pm$  Kalifeldspat). Massiver Cordierit zeigt den Extremfall, daß die Ausgangszusammensetzung so gegeben war, daß die Reaktion vollständig ablaufen konnte. Die übrige Schmelze intrudierte in das Nebengestein und bildete die Leukogranite.

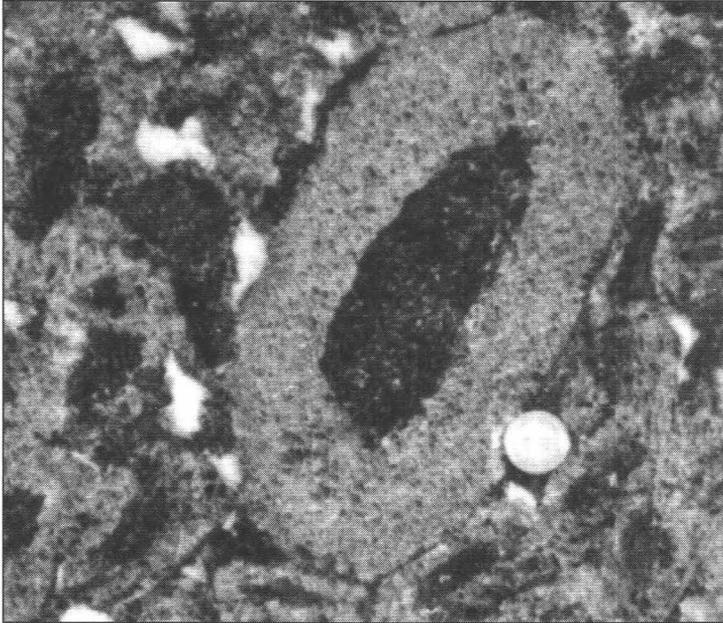


Abb. 6

Orbikularer Cordierit.

## 4. SAN LUIS PROVINZ

### 4.1 Basement

Die Sierras de San Luis, ein Teil der Sierras Pampeanas, befinden sich in Zentralargentinien (Abb. 7). Die Blockstruktur der Sierras Pampeanas entwickelte sich während der tertiären Andengebirgsbildung (JORDAN et al., 1983), das kristalline Grundgebirge selbst wurde im Präkambrium bis Paläozoikum gebildet (RAMOS, 1988). Das kristalline Basement wurde durch zwei verschiedene Deformationsereignisse gebildet: die erste Deformation sieht man in steil nach Westen einfallenden Schieferungsflächen (T1) und die zweite Deformation zeigt steil nach Osten einfallende Schieferungsflächen mit vertikaler Bewegungsrichtung (T2). Das Kristallin wird aus grünschieferfaziellen, amphibolitfaziellen und granulitfaziellen Gesteinen, mafisch-ultramafischen Körpern, Metagraniten und Pegmatiten aufgebaut. Die grünschieferfaziellen Gesteine, Phyllite und Phyllonite, treten vorwiegend im Osten der Sierras de San Luis auf. Einige kleinere Vorkommen gibt es auch innerhalb des höhergradigen Grundgebirges. Temperaturen von ca. 400°C konnten von den grünschieferfaziellen Gesteinen abgeleitet werden. Der Großteil des kristallinen Grundgebirges wird aus amphibolitfaziellen Gesteinen gebildet. Diese Gesteine können aufgrund der zwei Deformationsereignisse in zwei Gruppen eingeteilt werden: a) die erste Deformation (T1) fand unter amphibolitfaziellen Bedingungen (A1) statt. Die Gleichgewichtsmineralparagenese lautet: Staurolith - Granat - Biotit - Muskovit - Plagioklas - Quarz - Ilmenit ± Fibrolith ± Chlorit., b) die zweite, lokal begrenzte Deformation (T2) erfolgte ebenfalls unter amphibolitfaziellen Bedingungen (A2), überprägte dabei granulitfazielle Paragenesen (G), die durch die Intrusion der mafisch-ultramafischen Gesteine entstanden. Die Mineralgesellschaft dieser zweiten amphibolitfaziellen Metamorphose beinhaltet Granat - Biotit - Sillimanit - Plagioklas - Quarz - Rutil ± Orthoklas ± Muskovit (A2).

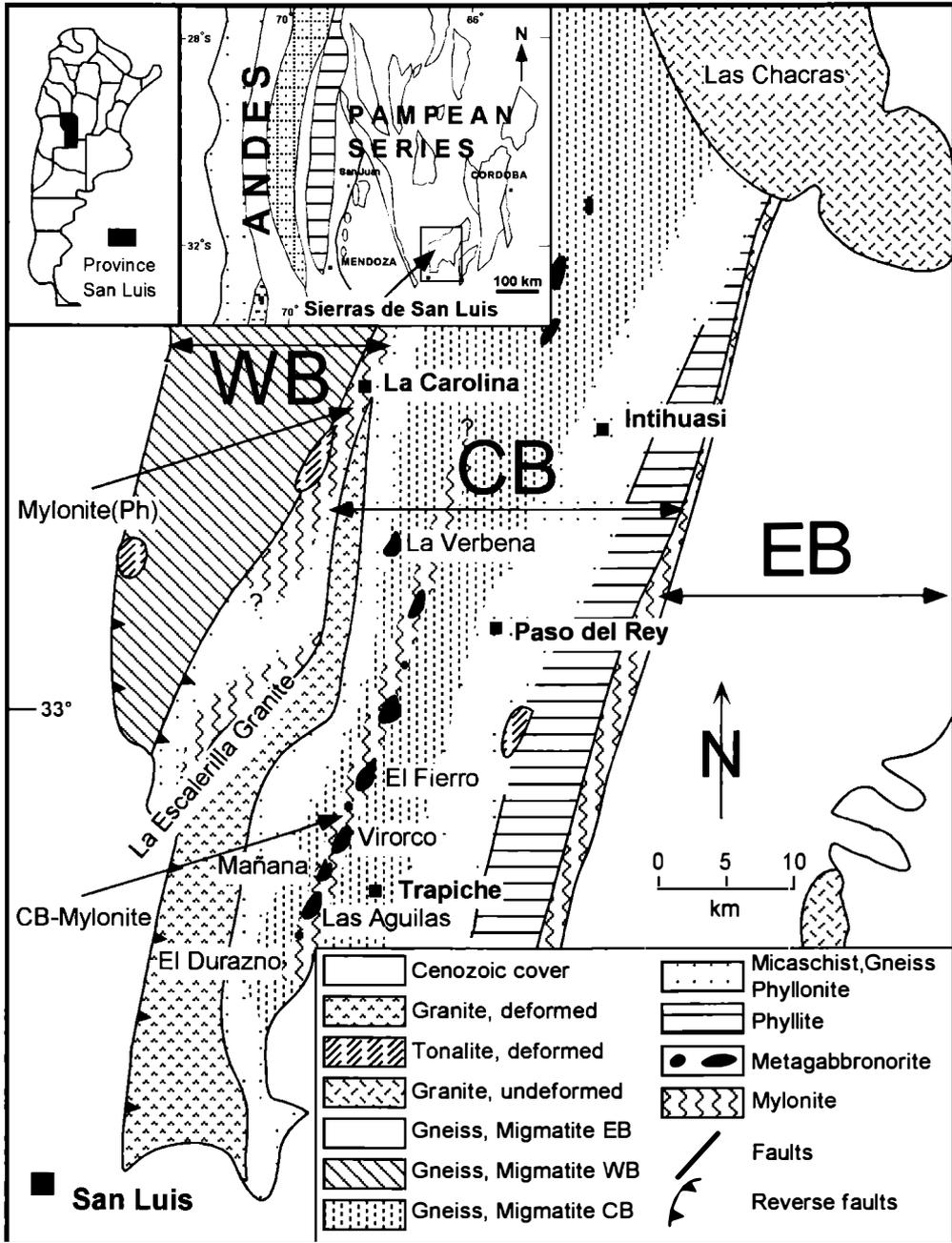


Abb. 7

Vereinfachte geologische Karte der Sierras de San Luis (nach VON GOSEN, 1996).  
 WB = Westlicher Block; CB = Zentraler Block; EB = Östlicher Block.

Die an der Oberfläche auftretenden mafisch-ultramafischen Linsen, sind Teil eines großen Intrusionskomplexes. Diese Intrusion bewirkte eine granulitfazielle Metamorphose (G) in den Kontakthöfen. Die granulitfazielle Mineralparagenese besteht aus Granat - Cordierit - Sillimanit - Biotit - Orthoklas - Plagioklas - Quarz - Rutil - Ilmenit  $\pm$  Orthopyroxene. Die meisten granulitfaziellen Proben sind aber aufgrund des zweiten Deformationsereignisses (T2) zum Teil retrograd überprägt (A2). Die Druck- und Temperaturbedingungen des ersten amphibolitfaziellen Ereignisses (A1-T1) betragen 540°C bis 630°C, die lokale granulitfazielle Metamorphose fand bei 700°C bis 800°C statt (G), und das lokal überprägende amphibolitfazielle Ereignis fand bei 600°C bis 650°C statt (A2-T2). Der Druck blieb mit 6 bis 7.5 kbar relativ konstant. Orthopyroxen, Cordierit-Sillimanit und Skapolith führende Mineralparagenesen, sowie primäre Flüssigkeitseinschlüsse zeigen eine sehr variable Wasseraktivität während der Metamorphose an. In den meisten Mineralparagenesen konnte aber eine Wasseraktivität von 0.6 abgeleitet werden. Die abgeleiteten Druck und Temperaturbedingungen der einzelnen Gesteinstypen lassen sich am besten mit einem P-T-Pfad im Gegenuhrzeigersinn erklären. Zuerst wurde das Kristallin einem regionalmetamorphen Pfad von 40°/km entsprechend amphibolitfaziell überprägt (A1), durch die Intrusion erfolgte lokal eine granulitfazielle Metamorphose (G). Während der Abkühlung erfolgte dann noch einmal eine lokal begrenzte Deformation (T2), die zu einer amphibolitfaziellen Überprägung führte (A2) (Abb. 8). Die geologische Position des Kristallinblocks der Sierras de San Luis könnte im "back-arc"-Bereich eines Orogens sein (HAUZENBERGER et al., 1999).

#### **4.2 PGE-Mineralisation in Las Aguilas**

In mehreren Bohrkernen aus dem Bereich Las Aguilas wurden Platingruppenminerale (PGM), Merenskyit-Melonit, Sperrylit und Irarsit-Hollingworthit gefunden. Das Vorkommen dieser Platingruppenminerale ist an eine Anreicherung von Sulfiden (Magnetkies, Kupferkies und Pentlandit) und Cr-Spinell geknüpft. Idiomorphe Körner von Merenskyit-Melonit und Sperrylit, die in Sulfiden eingeschlossen sind, zeigen deutlich eine magmatische Kristallisation an. Aufgrund des zweiten Deformationsereignisses (T2) kam es zu einer Fluidzirkulation in den mafisch-ultramafischen Körpern und es wurden hierbei Platingruppenminerale (PGE) lokal mobilisiert, transportiert und als Platingruppenminerale wieder abgelagert. Dieser zweite Teil der Mineralisation, der für die Bildung von Merenskyit-Melonit, Sperrylit und Irarsit-Hollingworthit verantwortlich ist, ist immer mit wasserhaltigen Mineralen (Chlorit, Amphibol, Serpentin oder Biotit) verbunden (MOGESSIE et al., 1996, HAUZENBERGER et al., 1997). Chondritnormalisierte Diagramme der Platingruppenminerale von Bohrkernproben zeigen einen Trend der für "layered intrusions", wie Stillwater, Bushveld und Talnakh, typisch ist (Abb. 9).

#### **4.3 Geochemie der mafischen Körper**

Geochemische Untersuchungen der mafisch-ultramafischen Körper zeigen, daß sie einem tholeiitischen Differentiationstrend folgen. Variationsdiagramme der Haupt- und Spurenelemente und der chondritnormalisierten seltenen Element-Muster (SEE) zeigen, daß alle Körper während des gleichen magmatischen Ereignisses gebildet wurden. Die fehlende Korrelation in den Rb-Sr- und Sm-Nd-Isotopensystemen deuten eine Krustenkontamination an.

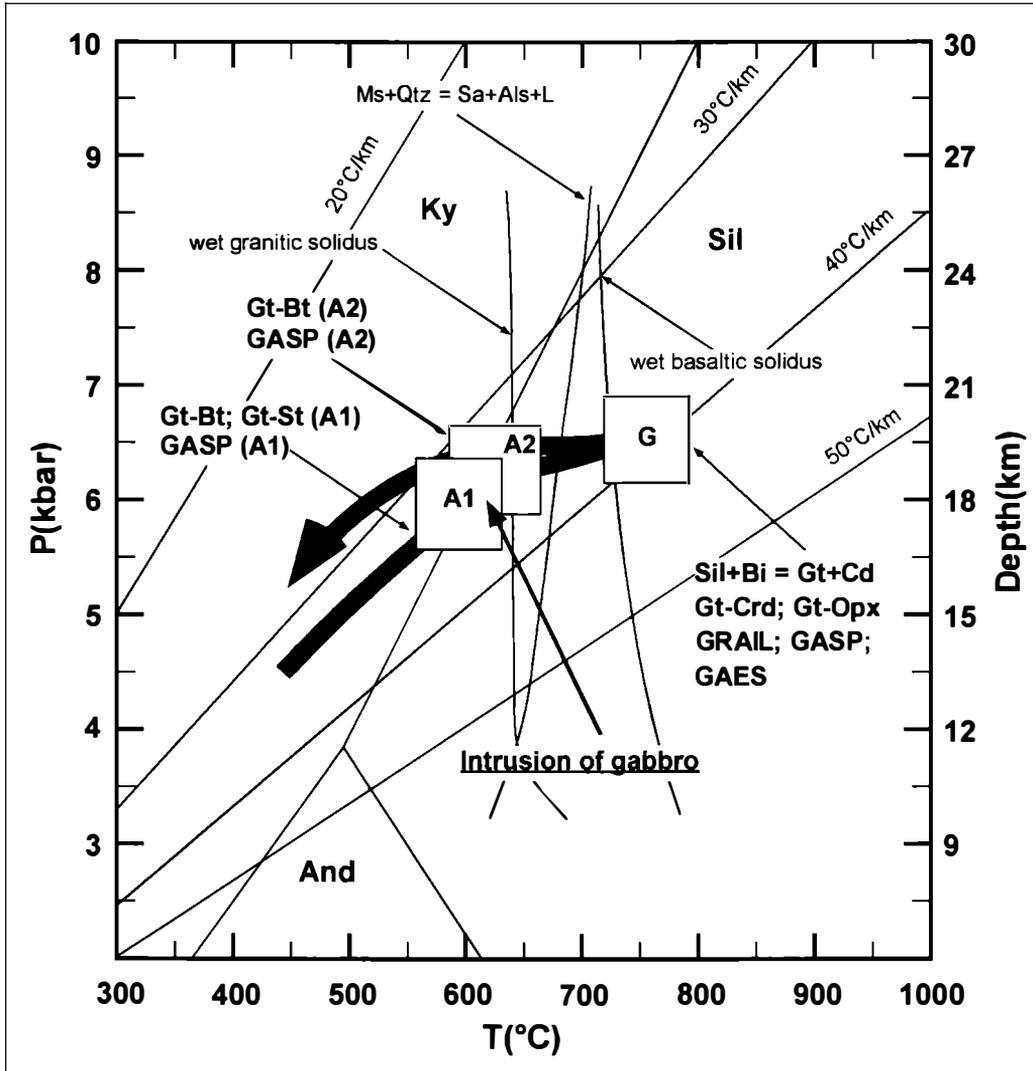


Abb. 8

*P-T-Pfad für den zentralen Block der Sierras de San Luis. Die erste metamorphe Überprägung erfolgte bei  $580^{\circ}C \pm 30^{\circ}C$  und  $6.1 \pm 0.5$  kbar, die granulitfaziellen Bedingungen erreichten  $770^{\circ}C \pm 30^{\circ}C$  und  $7 \pm 0.5$  kbar und die überprägenden Metamorphosebedingungen in der Mylonitzone waren  $620^{\circ}C \pm 30^{\circ}C$  und  $6.5 \pm 0.5$  kbar.*

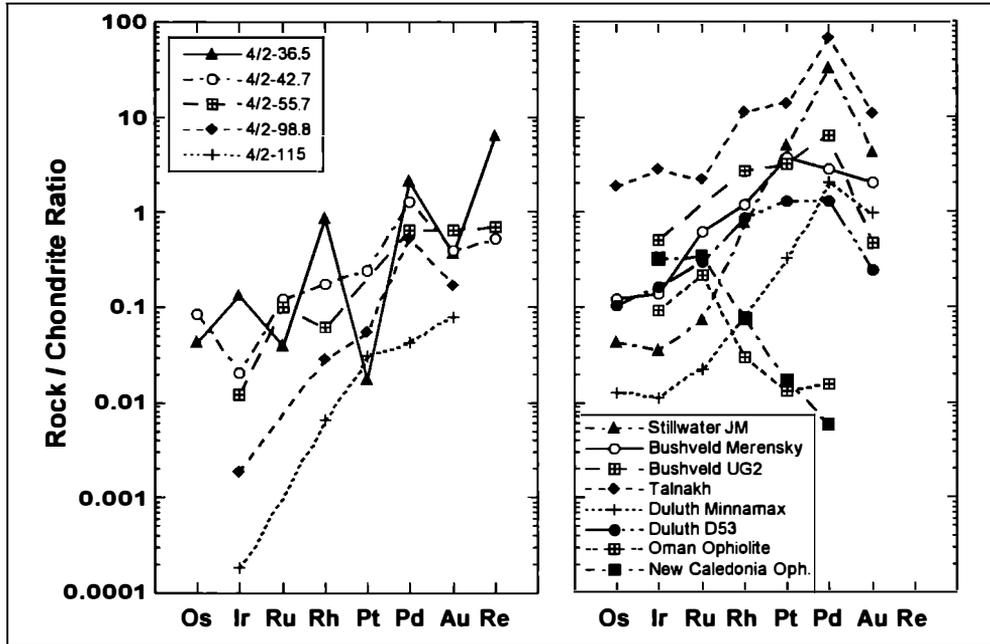


Abb. 9

Chondritnormalisierte Gesamtgesteinsdiagramme von Platingruppenelementen zeigen in den Proben von Las Aguilas einen Trend, wie er in anderen "within-plate-basalt"-Gebieten auftritt (z.B.: Stillwater (SW-JM), Duluth (Dul), Bushveld (Bv), Talnakh). Ophiolittrends (Oman, Neukaledonien) zeigen eine deutlich unterschiedliche Steigung.

## 5. MENDOZA PROVINZ

### 5.1 Precordillera - Cordillera Frontal (Bloque de San Rafael)

Die Precordilleren sind ein Schiefer- und Faltengürtel, der aus früh- bis spätpaläozoischen Sedimenten gebildet ist (RAMOS, 1990). Die Westseite der Precordilleren wurde während des Famatinischen Zyklus durch die Akkretion von allochthonen Terranes im Devon stark deformiert. Die westliche Begrenzung ist das Iglesia-Caligasta-Uspallata-Tal, das dem ehemaligen paläozoischen Plattenrand entspricht. Die Gesteine sind nur teilweise aufgeschlossen. Es existieren ebenfalls präkambrische bis frühpaläozoische metamorphe Gesteine, wobei die paläozoischen in zwei Zyklen sedimentieren: a) kambrisch-devonische marine Sedimente mit eingeschalteten basischen Gesteinen und b) karbon-permische marine und kontinentale Sedimente (Molasse). Permisch-triassische andesitische-rhyolitische Vulkanitdecken (Choiyoi-Gruppe) lagern auf den älteren Gesteinen auf. Karbonische und triassische Granite werden in allen Lagen gefunden. Die Gesteine werden im Westen von mesozoischen Schichten der Cordillera Principal und Intrusionen paläozoischer und karbon-permischer Granite teilweise überlagert.

Die Choiyoi-Gruppe ist in den südlichen Precordillaren, in der Cordillera Frontal und im Bloque San Rafael aufgeschlossen und wird mit dem Plutonismus aus diesem Zeitraum (zeitlich und chemisch) assoziiert. Es handelt sich um andesitische Lava, rhyolitische Tuffe und Ignimbrite, seltener um Trachyte und keratophyritische Laven. Diese Vulkanite liegen über den karbonischen bis frühpermischen Lagen und werden selbst von mittel- bis spättriassischen Sedimenten überlagert.

## **5.2 Cordillera Principal**

Die Cordillera Principal oder Hauptanden sind das Ergebnis der Patagonides und der Anden-Orogenese während des Mesozoikums und Känozoikums. Es erfolgen mehrere Sedimentationszyklen, die mit Extensionstektonik zusammenhängen, und Jura-Kreide Vulkanismus. Eiszeitablagerungen aus verschiedenen Epochen sind in den Tälern abgelagert, und pliozäne-quartäre Ablagerungen zeigen die stark kontinuierliche Hebung des Orogens an. In Chile, Argentinien und Bolivien sind die zentralen Anden in einem Stadium, das mit den Nordamerikanischen Cordillaren vor ca. 60 Ma zu vergleichen ist (JORDAN et. al., 1983). Daten aus Erdbebenuntersuchungen ergeben eine Konvergenzrate zwischen der Nazca- und der Südamerika-Platte von 9 bis 10 cm/Jahr. Geophysikalische Untersuchungen haben gezeigt, daß die Oberfläche der Nazca Platte zwischen Ecuador und Süd Chile segmentiert ist, und zwar in 5 Teilsegmente, die mit unterschiedlichen Abtauchwinkeln subduziert werden. Ein flaches Segment befindet sich auf 28° bis 33°S auf Höhe der Sierras Pampeanas und wird hier sub-horizontal (ca. 10° Abtauchwinkel) subduziert. Die Benioff Zone folgt dieser Morphologie und ist im flachen Segment auf Höhe der Sierras Pampeanas ebenfalls im höheren Bereich anzutreffen. Diese Segmentierung ist über der Benioff-Zone in den Anden ebenfalls vorzufinden. Beispielsweise gibt es in Bereichen mit der subhorizontalen Zone keinen quartären Vulkanismus, in Bereichen mit steilem Einfallen findet man hingegen Vulkanketten der quartären Farellones Formation. Mit Einsetzen der Quechua-Phase, eine um 7 Ma einsetzende Deformationsphase, wird die vulkanische Aktivität im Bereich der flachen Subduktion beendet. Auch die Morphologie und Tektonik (z. B. Längstäler und Störungszonen, Terranegrenzen und Küstengebiete) stehen eng im Zusammenhang mit der Segmentierung der Nazca-Platte und der daraus resultierenden Geologie.

## **5.3 Coastal Cordillera**

Hierbei handelt es sich hauptsächlich um paläozoische Metamorphite, Sedimente, Plutonite und permisch-triassische Vulkanite (v. a. in der Cordillera Principal).

Im östlichen Bereich befindet sich ein regionalmetamorpher Gürtel aus dem späten Paläozoikum, mit Glaukophanschiefern und ozeanischem Material, der an die westlichen, niedrig-gradigeren Gesteine angeschweißt ist. Diese wiederum sind mit karbon-spättriassischen, granitischen Plutonen assoziiert (in Valparaiso, Chile auch silurisch-devonisch).

## **6. EXKURSION**

### **CORDOBA PROVINZ**

Vom 17.2.1999 bis 21.2.1999 wurden 15 Aufschlüsse in den Sierras Pampeanas von Cordoba, Provinz Cordoba besucht.

#### **1. Exkursionstag**

Besuch der Universität, Einführung in die regionale Geologie der Sierras de Cordoba und Besprechung der geplanten Aufschlüsse durch Raul Lira und Roberto Martino. Besuch des mineralogischen Museums der Universität Cordoba.

#### **2. Exkursionstag**

Fahrt von Cordoba Richtung Westen durch quartäre Sedimente und kretazische Konglomerate zur geologischen Gruppe El Diquecito (Abb. 1).

##### **Stop 1**

Lokalität: El Diquecito, 20 km westlich von Cordoba, (S 31°21.354' W 64°22.269')

Aufschluß: Marmorsteinbruch; Einführung in die regionale Geologie des Gebietes

Gesteinsbeschreibung: Besichtigung der La-Loma-Ancha-Granite und der hochgradigen Orthogneise, Marmore (Cal + Dol + Di + Fo), Granulite (Opx + Bt + Plg + Qtz + Hbl + Mag + Ilm + Grt), und Migmatite (Kfs + Qtz + Crd + Grt + Bt + Sil ± Plg).

##### **Stop 2**

Lokalität: San-Roque-Gruppe, 5 km westlich von Stop 1. (S 31°21.102' W 64°24.038')

Aufschluß: Straßenkehre

Gesteinsbeschreibung: Metamorphosegrad nimmt ab (Grünschiefer bis Amphibolitfazies). Straßenaufschluß mit Amphiboliten (Hbl + Bt + Plg + Qtz + Ttn + Mag + Ilm) und tonalitischen Gneisen (Sil + Ms + Bt + Plg + Qtz), die netzartig von aplitischen Gängen durchdrungen werden.

##### **Stop 3**

Lokalität: Pampa de Olaen - Sierra Grande (S 30°59.252' W 64°43.915')

Aufschluß: Scheelit-Mine, 1.5 km südwestlich der Straße.

Gesteinsbeschreibung: Skarne (metasomatische Veränderung des Gesteins am Kontakt eines magmatischen Körpers) am Westrand des Achala-Batholiths. Mineralfundstelle von Epidot, Vesuvian, Almandin, Elbait, Scheelit- und Wismutvererzung.

#### **3. Exkursionstag**

##### **Stop 4**

Lokalität: Zentrum von Cordoba

Aufschluß: Fassade eines Gebäudes (siehe Abb. 6)

Gestein: Polierte Dekorplatten aus orbikularem Cordieritit (Crd ± Kfs + Bt + Plg ± Sil ± Qtz).

#### Stop 5

Lokalität: El Pilon bei Soto; 100 km nordwestlich von Cordoba und nördlich des Achala-Batholites (S 30°56.286' W 64°59.918')

Aufschluß: Gesteinsaufschluß entlang der Straße

Gesteinsbeschreibung: Nebengestein der Cordieritite: hochgradige Gneise und Migmatite (Melano- und Leukosome)

#### Stop 6

Lokalität: 5 km nördlich von Stop 5 (S 30°58.209' W 64°59.282')

Aufschluß: Cordieritit Steinbruch

Gesteinsbeschreibung: Massiver Cordieritit (bis zu 95 % Cordierit) mit eingeschuppten, deformierten Gneis- und Aplitlinsen.

#### Stop 7

Lokalität: 2 km nördlich von Stop 6 (S 30°58.204' W 64°59.707')

Aufschluß: Cordieritit Steinbruch

Gesteinsbeschreibung: Orbikularer Cordieritit: Gestein mit 15 cm großen "eiförmigen" Biotitkongkretionen im Kern und Cordieritträndern.

Reaktion:  $Bt + Sil + Plg + Qtz + Fluid$  (Kernbereich)  $\leftrightarrow$   $Crd \pm Kfs + Fluid$  (Randbereich).

### 4. Exkursionstag

#### Stop 8

Lokalität: Paß an der Straße in Richtung Alta Gracia (südlich von Cordoba)

Ausblick auf ein geologisches N-S-Profil der Sierra Chica, die im Süden in die tertiär-quartäre Sedimentdecke eintaucht. Weiters sieht man das Punilla-Tal, welches die Sierra Chica von der Sierra Grande trennt.

#### Stop 9

Lokalität: Verde-Alpe-Steinbruch (S 31°33.091' W 64°34.721')

Aufschluß: Es handelt sich um einen Teil des mafisch-ultramafischen Gürtels (Faja Oriental), in dem seit 40 Jahren Serpentin abgebaut wird. Der gesamte Bereich ist etwa 2000 m lang, 800 m breit und zeigt eine antiklinale Struktur.

Gesteinsbeschreibung: Es handelt sich um serpentinierte, ultrabasische Körper (Peridotite, Harzburgite, Pyroxenite), welche in Richtung N 35° streichen. Die Umgebungsgesteine sind Amphibolite und Metakarbonate.

#### Stop 10

Lokalität: Atos-Pampa-Santa-Rosa-Fluß (S 32°01.921' W 64°43.123')

Aufschluß: entlang dem Flußbett des Santa Rosa nahe der Brücke.

Gesteinsbeschreibung: Es handelt sich um einen Teil des Massives von Atos Pampa (südlicher Teil der Sierra Grande) und besteht aus stromatitischen und diatexitischen Migmatitvorkommen, die folgende Paragenese zeigen:  $Kfs + Qtz + Crd + Grt + Bt + Sil + Plg$ . Dieser Bereich wurde durch eine Scherzone überprägt und zeigt eine ostvergente Struktur.

#### Stop 11

Lokalität: Yacanto, ca. 2–3 km vom Santa-Rosa-Fluß entfernt (S 32°02.640' W 64°43.576')

Aufschluß: Steinbruch mit Kinzigitabbau in Form von Blöcken

Gesteinsbeschreibung: Bei Kinzigiten handelt es sich um restitische Gesteine einer hochgradigen metamorphen Entwicklung mit folgender Paragenese: Crd + Grt + Plg + Qtz ± Bt ± Mt. Die Kinzigite sind geklüftet und zeigen eine penetrative Mineralregelung, wobei Quarz und Plagioklas entlang der Foliation gestreckt sind.

#### Stop 12

Lokalität: Kreuzung zur Hauptstraße in der Nähe von Villa General Belgrano.

Aufschluß: Straßenböschung

Gesteinsbeschreibung: Überschiebung des quartären Konglomerates durch kambrisches Basement.

### 5. Exkursionstag

Ost-West Profil (130 km lang) entlang der Bundesstraße Nr. 20 durch den Achala Batholit.

#### Stop 13

Lokalität: 80 km westlich von Cordoba entlang der Bundesstraße Nr. 20

Aufschluß: Straßenaufschluß

Gesteinsbeschreibung: Es handelt sich um einen porphyritischen Monzogranit, der die tiefste Einheit des Batholites darstellt. Weiters treten diskordante lamprophyrische Gänge (Kreide?) auf.

#### Stop 14

Lokalität: Von Stop 13, 6 km weiter nach Westen entlang der Bundesstraße Nr. 20.

Aufschluß: Straßenaufschluß

Gesteinsbeschreibung: Biotit-Apatit Kumulate (Einschlüsse) treten in porphyritischen Monzograniten mit einer Größe von wenigen cm bis dm auf. Der Biotitanteil erreicht meist 50 Modal-%, der Apatitgehalt beträgt etwa 20 Modal-%, weiters kommen auch Magnetit, Quarz und Muskovit vor. SHRIMP-Studien an Zirkon aus den Biotit-Apatit-Einschlüssen ergaben ein Alter von  $368 \pm 2$  Ma.

#### Stop 15

Lokalität: Villa Dolores/Las Tapias (S 31°56.645' W 65°05.329')

Aufschluß: Steinbruch: Las Tapias Pegmatit (südlicher Rand der Sierras Altautina)

Gesteinsbeschreibung: Pegmatitintrusion in einen dioritischen Körper mit komplexer Zonierung. Vormalig wichtigste Berylliumlagerstätte Argentiniens.

1. Aufschluß: Beryll-Kalifeldspat-Quarz-Zone.

2. Aufschluß: 100 m lange Stollen mit bis zu 4 m großen Mega-Spodumenkristallen.

## PROVINZ SAN LUIS

### 6. Exkursionstag

Vom 21. bis 26. Februar wurden insgesamt 15 Aufschlüsse in den Sierras de San Luis besucht. Abb. 10 zeigt auf einer geographischen Karte alle Stops.

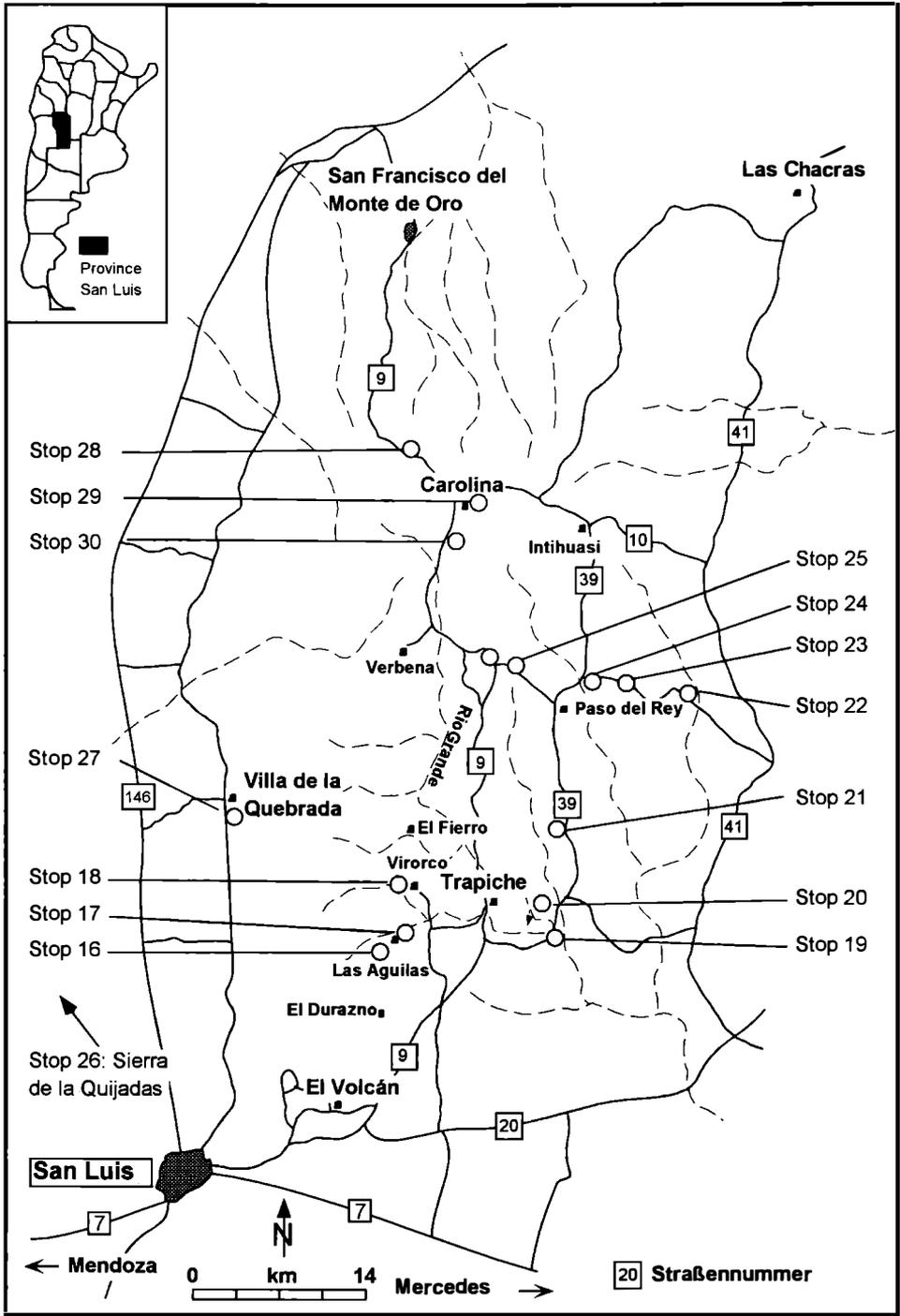


Abb. 10  
 Geographische Karte der Sierras de San Luis mit allen eingezeichneten Exkursions-Stops.

## 7. Exkursionstag

### Stop 16

Lokalität: El Arbolito (GPS: S 33°07,833' W 66°08,547') westlich von El Trapiche in der Nähe von Las Aguilas

Aufschluß: Wechsellagerungen von mafischen und pelitischen Gesteinen

Es wurden mafisch-ultramafische Linsen, die von Gneisen und Metapeliten umgeben sind, geophysikalisch untersucht. Im wesentlichen wurden folgende geophysikalische Meßmethoden gezeigt: Gravimetrie, Geomagnetik, Radioaktivität und Geoelektrik.

### Stop 17

Lokalität: Las Aguilas (GPS: S 33°07,380' W 66°08,181'): 5 km westlich von El Trapiche liegt der Sondierstollen von Las Aguilas

Aufschluß: Stollenmundloch und Halde

Gesteinsbeschreibung: Mafische Körper durchstoßen steilstehende Gneise und Metapelite. Bei den mafischen Körpern handelt es sich um gabbroide Gesteine, Norite und Pyroxenite-Hornblendite mit eingeschalteten ultramafischen Kumulaten (Dunite, Harzburgite). Zum Teil zeigen diese mafischen Gesteine noch eine migmatitische Überprägung (siehe Abb. 11). Innerhalb der mafischen Linsen tritt eine Sulfidvererzung auf, die zum Teil Platingruppenmineral (PGM) führend ist. Die Mineralisation dieser Vererzung besteht aus Pyrrhotin, Pentlandit, Kupferkies, Molybdänit, Chromit und PGM. Bei den Gneisen, die den mafischen Körper umgeben, handelt es sich um deformierte granulitfazielle Gesteine, die die Mineralparagenese  $Grt + Bt + Crd + Bt + Kfs + Pl + Qtz \pm Opx$  führen. Die z.T migmatitischen Gneise und Metapelite wurden durch eine spätere retrograde Metamorphose zu amphibolitfaziellen Bedingungen umgewandelt (Abb. 12).

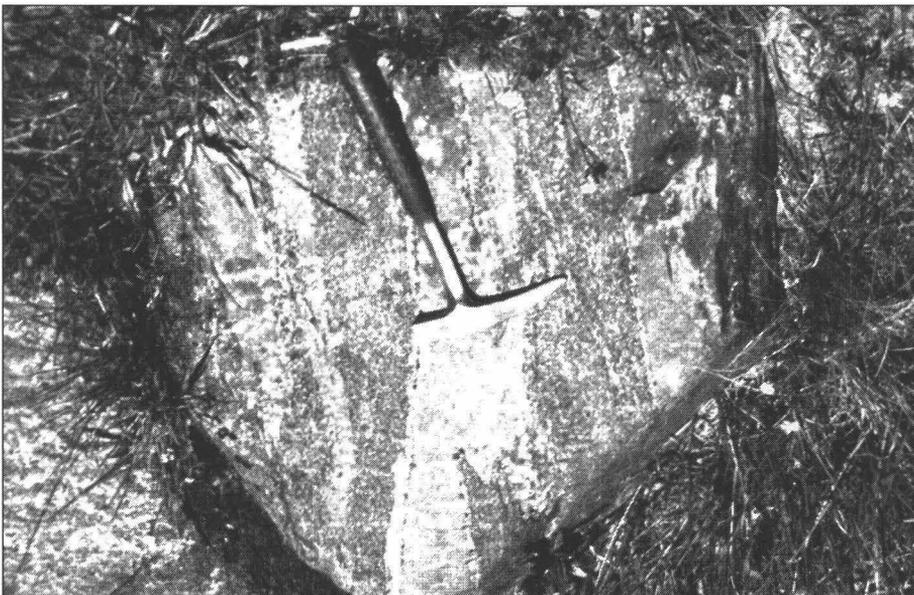


Abb. 11

Mafischer Migmatit im Las-Aguilas-Gebiet.



**Abb. 12**  
*Migmatite im Las-Aguilas-Gebiet.*

#### Stop 18

Lokalität: Virorco (GPS: S 33°05,664' W 66°07,126'): westlich von El Trapiche und nördlich von Las Aguilas

Aufschluß: ehemaliger Bergbau (Schurf)

Gesteinsbeschreibung: es handelt sich um einen mafischen Körper wie in Las Aguilas. In diesem kann man einen alten aufgelassenen Schurf erkennen, der einst von Jesuiten auf Eisen und Kupfer betrieben worden ist. Die Sulfidlagerstätte wurde sekundär gebildet und ist an einen Quarzgang gebunden. Die Genese hat mit der PGM-Mineralisation von Las Aguilas nichts gemeinsam. An Klüften kann man gediegenen Schwefel beobachten. In der Nähe des Schurfes bildete sich das mafische Gestein wie eine "layered intrusion" aus. Diese primäre magmatische Struktur wurde jedoch metamorph überprägt, z.T ist auch ein Schieferungsgefüge zu erkennen.

### 8. Exkursionstag

Anhand eines Straßenprofils, ausgehend von La Florida über Paso del Rey - La Toma nach El Trapiche (Abb. 10), wurden die drei tektonischen Einheiten des Kristallins von San Luis besichtigt (Abb. 7). Die Blockstruktur entwickelte sich während der Spätphase der paläozoischen Metamorphose.

#### Stop 19

Lokalität: La Florida (GPS: S 33°07,256' W 66°00,617'): östlich von El Trapiche, entlang der Straße um Stausee

Aufschluß: Straßenböschung

**Gesteinsbeschreibung:** Es konnten Glimmerschiefer mit ausgezeichneten Granatporphyroblasten beobachtet werden, die unter anderem auch Staurolith führen. Es handelt sich hierbei um eine lithologische Grenze innerhalb des zentralen Blockes, die man durch den Übergang von Glimmerschiefern zu Phylliten erkennt.

#### Stop 20

**Lokalität:** Phyllitaufschluß östlich von El Trapiche

**Aufschluß:** Straßenaufschluß

**Gesteinsbeschreibung:** Dieser Aufschluß gehört zur östlichsten Einheit des zentralen Blockes. Erkennbar sind vor allem Chlorit-Muskovit-Biotit führende Pyhyllite, in denen auch idiomorphe Pyritkristalle gefunden werden können. Das generelle Streichen dieser Gesteinseinheit ist NNE-SSW. Der Übergang zwischen den steilstehenden Phylliten und der östlich davon gelegenen Mylonitzone ist als scharfe tektonische Grenze (Deckengrenze?) im Gelände zu beobachten.

#### Stop 21

**Lokalität:** Granodioritaufschluß (GPS: S 33°02,519' W 65°59,822') nordöstlich von El Fierro (Straße La Florida Paso del Rey)

**Aufschluß:** Straßenaufschluß

**Gesteinsbeschreibung:** Es handelt sich hierbei um eine Granodioritintrusion, die im Bereich der Grenze zwischen Phylliten und Glimmerschiefern liegt.

#### Stop 22

**Lokalität:** Migmatitaufschluß östlich von Paso del Rey

**Aufschluß:** Straßenaufschluß

**Gesteinsbeschreibung:** Dieser Aufschluß liegt östlich der Phyllite (CB) und besteht aus Migmatiten. Der Metamorphosegrad ist etwas höhergradiger als im zentralen Block (CB, Abb. 7). Es konnte ein Zunehmen der tektonischen Deformation beobachtet werden, je näher man an den Übergang zwischen zentralem Block (CB) und dem östlichen Block (EB) kommt.

#### Stop 23

**Lokalität:** Steinbruch (GPS: S 33°05,535' W 65°59,381') östlich von Paso del Rey

**Aufschluß:** Steinbruch

**Gesteinsbeschreibung:** Der Aufschluß zeigt stark geschieferte Phyllite, die unmittelbar an die Störungszone zwischen dem zentralen und dem östlichen Block gebunden sind. Die Phyllite werden heute für Bauzwecke (Bodenplatten) gewonnen.

#### Stop 24

**Lokalität:** Skapolithaufschluß NW von Paso del Rey

**Aufschluß:** Straßenaufschluß

**Gesteinsbeschreibung:** In den granulitfaziellen Gneisen und Metapeliten des zentralen Blockes (CB) kann man eine skapolithführende Kalksilikatlinse finden. Die vorwiegend hellen Gesteine führen unter anderem Granat, Hornblende, Titanit, Diopsid, Feldspat und wenig Quarz. Gerechnete Fluidzusammensetzungen dieser Mineralparagenese zeigen eine sehr hohe Wasseraktivität ( $> 0.8$ ) an (HAUZENBERGER et al., 1997).

## 9. Exkursionstag

### Stop 25

Lokalität: Parque Nacional Sierra de las Quijadas: Der Nationalpark Sierra de las Quijadas liegt ca. 120 km N der Provinzhauptstadt San Luis in Richtung San Juan. E des Dorfes Hualtaran läßt sich die Sierra de las Quijadas entlang der "ruta nacional" NO 147 erreichen.

Aufschluß: Canyon

Gesteinsbeschreibung: Es handelt sich hierbei um ein ca. 4000 ha großes Gebiet, welches ausschließlich von postorogenen kontinentalen Sedimenten unterschiedlichen Alters (Trias-Kreide) aufgebaut ist. Jene horizontal geschichteten Sedimente wurden von Wind und Wasser spektakulär geformt, sodaß sie heute einen der größten touristischen Anziehungspunkte darstellen. Dieser Nationalpark ist unter anderem auch als Fundort für Fossilien bekannt, aber er zeichnet sich auch durch seine Vielfalt an Pflanzen, vor allem an Kakteen, aus. Auch sein archäologischer Stellenwert ist nicht zu unterschätzen, denn dieses Gebiet galt als die Heimat der Huarpes Indios. Bei genauer Betrachtung läßt sich eine Sedimentabfolge seit der Trias erkennen, welche durch eine äußerst dunkle Färbung auffällt. Im Gegensatz dazu stehen die mächtigen kretazischen Sedimente, die durch rote fossilführende Sandsteine aufgebaut sind. Dinosaurierfunde aus dieser Zeit weisen vor allem auf die Existenz der Pterosauria hin, eine Art Flugsaurier, der eine Spannweite von bis zu 15 m erreichen konnte. Sie lebten im wesentlichen von Fischen und verschiedenen Mikroorganismen, die sie mit einem reusenartigen Fanggebiß über dem Gewässer dahingleitend aufsammelten. Das gesamte Sedimentbecken wurde vor 25 Millionen Jahren als Folge der Andenbewegung gehoben. Die heutige bizarre Erscheinung der rötlich gefärbten Sandsteinformationen wurde durch Erosion gebildet (Abb. 13).



Abb. 13

*Kretazische Sandsteinformation in den Sierras de Las Quijadas.*

#### Stop 26

Lokalität: La Escalerilla (GPS: S 33°08,223' W 66°15,223')

Aufschluß: Straßenaufschluß

Gesteinsbeschreibung: Bei diesem Aufschluß handelt es sich um einen schwach deformierten Granit, der in seiner inhomogenen Matrix verschieden große Kalifeldspateinsprenglinge aufweist. Die darin enthaltenen Glimmer weisen eine leicht metamorphe Orientierung auf.

### 10. Exkursionstag

Profil von La Carolina Richtung Westen, vom zentralen in den westlichen Block (Abb. 7, Abb. 10).

#### Stop 27

Lokalität: GPS S 32°45,119' W 66°08,639'

Aufschluß: Aufschlüsse entlang der Straße

Gesteinsbeschreibung: Orthogneismigmatite, in denen mafische Linsen (Amphibolit) vorkommen. Diese mafischen Linsen haben einen ähnlichen Chemismus wie die mafischen Intrusionen von Las Aguilas-Vivorco. Im Nahbereich der Grenze beider Blöcke, die durch eine mächtige Mylonitzone erkennbar ist, sind häufig Pegmatite zu beobachten.

#### Stop 28

Lokalität: GPS S 32°46,536' W 66°06,019'

Aufschluß: steilstehende Phyllonite

Gesteinsbeschreibung: Die Gesteine sind durch die Störungszone zwischen beiden Blöcken stark deformiert, extrem steilgestellt und sehen wie Phyllite (Phyllonite) aus. Makroskopisch sind in diesen dunkelgrauen Gesteinen Muskovit, Biotit, Quarz, Plagioklas, Mikroklin und seltener manganreicher Granat zu erkennen. In der näheren Umgebung treten Pegmatite auf.

#### Stop 29

Lokalität: La Carolina, Straße auf den Vulkan La Carolina GPS S 32°48,751' W 66°04,803'

Aufschluß: Straßeböschung

Gesteinsbeschreibung: der Aufschluß liegt an der Grenze zwischen den tertiären andesitischen Vulkaniten und den umgebenden Phylliten. Die Andesite sind von hellgrauer, grünlicher Farbe und weisen mm-große Xenolithe (Plagioklase, Sulfide) auf. Die Phyllite sind bräunlich hell und im Bereich vermehrter Sulfidführung durch Limonitbildung rostrot-dunkelbraun gefärbt. Im Kontaktbereich zwischen diesen Gesteinen kam es in den Phylliten zu einer sulfidischen Goldvererzung, auf welche ein Bergbau bestand, der zur Zeit jedoch nicht in Betrieb ist.

#### Stop 30

Lokalität: GPS S 32°51,129' W 66°06,437'

Aufschluß: Straßeböschung

Gesteinsbeschreibung: Es handelt sich hierbei um den aufgeschlossenen östlichen Kontakt des La-Escalerilla-Granit mit Phylliten des zentralen Blockes. Das Flußbett in der Umgebung des Aufschlusses ist goldführend (La Carolina); dies ist durch Goldwäscheraktivitäten weithin sichtbar.

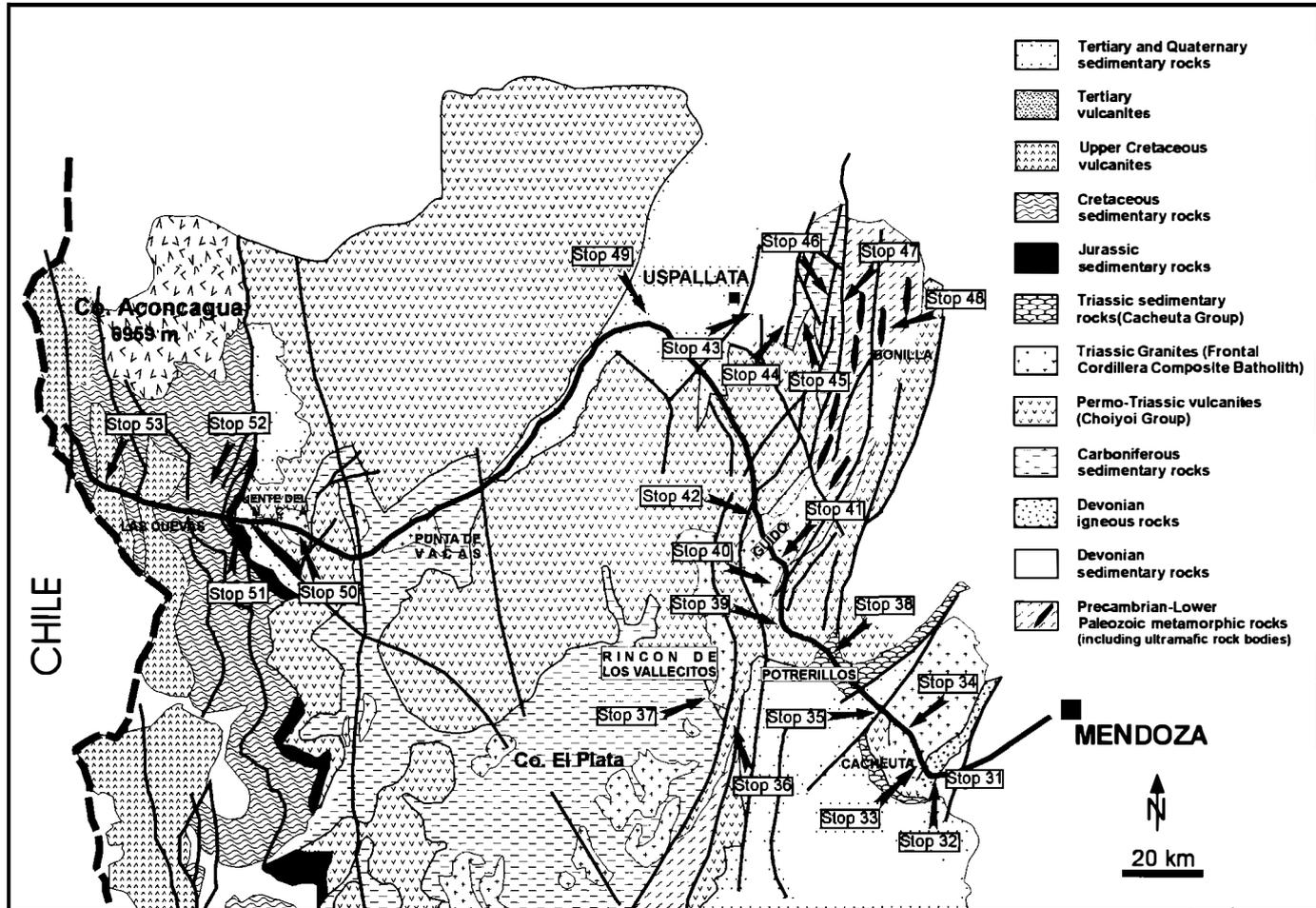


Abb. 14

Geologische Karte des Mendoza Gebiets mit allen eingezeichneten Exkursions-Stops.

## **PROVINZ MENDOZA**

In den letzten Exkursionstagen (26.2.–2.3.1999) wurden 3 Profile (insgesamt 23 Stops) durch die Haupteinheiten der Anden, die Precordilleren, die Cordillera Frontal und die Cordillera Principal absolviert (Abb. 14).

### **11. Exkursionstag**

#### **Stop 31**

Lokalität: Boca del Rio: Besprechung zum Aufbau der Cordillera allgemein.

Sie wird hauptsächlich aus: a) Basement mit einigen Ultramafiten, b) Sedimenten, c) mehreren Granitstöcken und d) der Choiyoi-Gruppe (basische bis saure Vulkanite, permotriassisch) aufgebaut. Die Gesteine der Cordillera Frontal und der Precordillera sind am Kontakt stark miteinander verzahnt und deformiert.

#### **Stop 32**

Lokalität: Cachueta Tonalit (Perm), im Kontakt mit Grauwacken (Ordoviz), GPS: S 33°02.867' W 69°05.553'

Aufschluß: Straßenaufschluß,

Gesteinsbeschreibung: Der Cachueta Tonalit tritt massig im Gelände auf und hat hohe Quarz- und Plagioklasgehalte. Der Tonalitstock wird aus verschiedenen Faziesbereichen aufgebaut. Im Randbereich ist die Zusammensetzung eher granodioritisch. Der Boca-del-Rio-Granodiorit (I-Typ Granit, Devon) ist ebenfalls ein massiger Magmatit mit hohem Quarz- und Plagioklasgehalt, wobei aber deutlich mehr Kalifeldspatklasten und Rapakivitexturen als im Cachueta-Tonalit zu sehen sind.

Die Grauwacken erscheinen als massige, feinkörnige Metasedimente (Qz + Fsp + Bt ± Ep), welche lagig in dezimeter-dicken Platten brechen. Die Bruchflächen sind körnig, verwittern schmutzig-grau und durch den teilweise hohen Schwefelgehalt sind sie intensiv gelb gefärbt. Der frische Bruch ist hell- bis dunkelgrau. Die Tonalite und Grauwacken sind stark ineinander verzahnt und die Grauwacke zeigt kontaktmetamorphe Veränderungen (Hornfelsbildung) mit feinstkörnigem, massigem Gefüge.

Der Tonalit steht im Kontakt mit dem devonischen Boca del Rio Granodiorit und ist wie dieser NE-SW gelängt. Die gesamte Deformation in diesem Gebiet ist spröde und zeigt ebenfalls NE-SW gerichtete Hauptstörungsrichtungen. Die Plutone stehen im Kontakt mit den ordovizischen Gesteinen der Precordilleren, gehören aber verschiedenen magmatischen Ereignissen an.

#### **Stop 33**

Lokalität: Puente Rio Mendoza

Aufschluß: Straßenaufschluß

Gesteinsbeschreibung: Feinkörnige, schwarze Basaltgänge im Cachueta-Tonalit verwittern dunkelgrün und zeigen keinerlei Metamorphoseerscheinungen. Der helle Tonalit wird von den jüngeren, basaltischen Gängen ohne Hinweis auf strukturelle Kontrolle durchschlagen. Diese Intrusion basischer Gänge stellt eindeutig das jüngste magmatische Event dar.

#### Stop 34

Lokalität: Cachueta, GPS: S 33°00.780' W 069°07.138'

Aufschluß: Granitwand, die durch straßenbauliche Maßnahmen aufgeschlossen wurde.

Gesteinsbeschreibung: Bei diesem Aufschluß wird die Rapakivi-Textur genauer untersucht (Plagioklaskorona um cm-große, idiomorphe Kalifeldspatblasten).

Über diesem Tonalit lagern Gesteine der Cachueta Formation (Tonschiefer und Grünschiefer), die wiederum von triassischen Basalten durchschlagen werden.

#### Stop 35

Lokalität: Querebrada del Toro, Nahe am Rio Mendoza, GPS: S 32°59.541' W69°10.077'

Aufschluß: Aussichtspunkt zur Erfassung der morphologischen und geologischen Situation. Hier bildet eine NE-SW gerichtete Störung die tektonische Grenze zwischen Cachueta-Tonalit und der vulkanischen Choiyoi Gruppe (Permotrias) zu den tertiären, fluviatilen und lakustrinen Sedimenten. Während dieses tektonischen Vorgangs entstand ein Flußgraben.

Gesteinsbeschreibung: Aus ca. 10 km Entfernung ist die deutliche Schichtung tertiärer kontinentaler Sedimente zu erkennen, die den oft fluviatilen Charakter der Ablagerungen widerspiegeln. Besonders bei den lakustrinen Sedimenten sind bis zu metergroße Geröllkomponenten zu sehen. Es lassen sich aber auch äolische Sedimente im Liegenden der lakustrinen Einheiten erkennen.

#### Stop 36

Lokalität: Karbone Sandsteine der paläozoischen La-Plata-Formation, GPS: S 32°59.628' W 69°18.330'

Aufschluß: Straßenaufschluß

Gesteinsbeschreibung: Bei den karbonen Sandsteinen handelt es sich um typische quarzreiche und sehr harte Gesteine. Sie sind im Meterbereich gebankt und verwittern relativ gleichmäßig (nur an den Schichtgrenzen etwas stärker). Die Verwitterungsfarbe ist schmutzig-braun bis weiß, während der frische Bruch hellbraun ist und den Mineralbestand ( $Qz \pm Fsp \pm Ms$ ) erkennen läßt. Diese harten Sandsteine gehören zur karbonen La-Plata-Formation, welche die im vorigen Stop angesprochenen tertiären, sehr weichen Sedimente überschieben. Im Hangenden befindet sich die Choiyoi Gruppe. Devone Sedimente und Metamorphite fehlen völlig.

#### Stop 37

Lokalität: permischer El Pacho Granit, La Plata Formation, GPS: S 32°58.530' W 69°21.462'

Aufschluß: Straßenaufschluß

Gesteinsbeschreibung: Der Quarz- und Kalifeldspat-reiche El-Pacho-Granit verwittert oberflächlich in einer sehr hellen bis weißen Farbe und produziert weiträumige Schutthalden. Eingeschaltet findet man dunkle feinkörnige La-Plata-Basalte.

Der Granit intrudiert die karbonen Einheiten der La-Plata-Formation, wobei diese Formation aus tiefmarinen Sedimenten, Pillow-Laven und Turbiditen besteht und bis in eine Höhe von 5000 m reicht.

#### Stop 38

Lokalität: Cerro Cocodrilo, GPS: S 32°56.234' W 69°12.840'

Aufschluß: Sedimentabfolge

**Gesteinsbeschreibung:** Die verschiedenen Sedimente lassen sich aufgrund ihrer Verwitterungsform unterscheiden. So verwittert bei den Konglomeraten der Füllzement viel schneller als die Geröllkomponenten. Bei den Sandsteinen ist die Verwitterung viel gleichmäßiger. Das Profil triassischer Sedimente der Cachueta-Gruppe (vom Liegenden ins Hangende) ist wie folgt: alluviale, kreuzgeschichtete Sedimente, Sandsteine, Muschelschill, Aschen, Konglomerate.

#### Stop 39

**Lokalität:** GPS: S 32°53.819' W 69°12.840'

**Aufschluß:** Basementaufschluß innerhalb der Choiyoi-Gruppe

**Gesteinsbeschreibung:** Feinkörnige Phyllite mit grauer Verwitterungsfarbe brechen in millimeter- bis zentimeterdicken Platten. Die Phyllite werden durch einen Straßenanschnitt aufgeschlossen und unterlagern konkordant die Choiyoi-Gruppe. Weiters wird in diesem Bereich die Choiyoi-Gruppe von einem granitischen Sill des permischen Guido-Plutonits durchschlagen. Durch eine riesige Störung (Bonilla fault) werden die Phyllite in diese topographische Höhe gebracht und aufgeschlossen.

#### Stop 40

**Lokalität:** ca. 3 km weiter auf der Straße

**Aufschluß:** karbonen Sedimente mit permischem Guido-Batholith

**Gesteinsbeschreibung:** Der Guido-Granit führt, ähnlich wie die anderen Granite, große Kalifeldspäte in einer Matrix aus Quarz und Plagioklaskörnern ( $\pm$ Bt, keine Hbl). Die Verwitterungsfarbe ist weißlich bis rötlich und im frischen Bruch treten markant Kalifeldspatklasten in Erscheinung. Der Granit intrudiert die Choiyoi-Gruppe und schiebt sich dann entlang einer flachen Störung (western fault) über die karbonen Gesteine.

#### Stop 41

**Lokalität:** Guido

**Aufschluß:** Guido-Granit (Perm) mit Xenolithen, Straßenaufschluß

**Gesteinsbeschreibung:** Die meist linsenförmigen, bis in den Meterbereich großen Amphibolit-xenolithe sind dunkelgrau bis schwarz und zeigen durchwegs scharfen Kontakt zum Granit. Duktile Deformationsstrukturen (Fließen) sind in und am Rand der Linsen deutlich zu erkennen. Weiters findet man mitgerissene Blöcke der karbonen Formationen. Wiederum durchschlagen junge Basaltgänge den Granitkörper. Die Xenolithe scheinen, je weiter man in Granitzentrum kommt, basische Schmelzprodukte magmatischen Ursprungs zu sein. Die jungen Basaltgänge durchschlagen den Granit.

#### Stop 42

**Lokalität:** Cerro Negro

**Aufschluß:** Straßenaufschluß, Kontakt zwischen dem Guido Granit und der Choiyoi-Gruppe.

**Gesteinsbeschreibung:** Die Rhyolite der Choiyoi Gruppe zeigen dunkelrote Farben und brechen typischerweise glatt und spröde. Deutlich zu erkennen sind Fließtexturen und die zonierte Plagioklaseinsprenglinge in einer feinstkörnigen bis glasigen Matrix.

## 12. Exkursionstag

Ausgangspunkt: Uspallata, Profil Richtung Osten

### Stop 43

Lokalität: ca. 5km von Uspallata, Richtung Osten, GPS: S 32°36.309' W 69°19.653'

Aufschluß: Übersicht über die geologische Situation. Ordovizische Grauwacken (marin) und permotriassische Choiyoi-Gruppe

Gesteinsbeschreibung: Die Choiyoi-Gruppe wird hauptsächlich aus Vulkaniten mit basaltischem, andesitischem bis rhyolithischem Charakter aufgebaut. Die verschiedenen vulkanischen Produkte (z.B. Pyroklastika und Ignimbrite) zeigen die für Rhyolite typischen vielfarbigen Verwitterungserscheinungen (grün, gelb, rot), die hauptsächlich von verschiedenen Alterationsmineralen (z.B. Tonminerale) stammen. Besonders markant sind weiße Ignimbritströme, die in verschiedenen Lagen der Choiyoi Gruppe auftreten und meist horizontale Lagerung anzeigen. Die Pyroklastika sind matrixdominiert und beinhalten nur wenige Einsprenglinge. Die eng verfalteten ordovizischen Grauwacken werden hier von einer Choiyoi-Klippe Richtung Osten überschoben. Weiter im Osten wird das Basement auf die karbonen Sedimente (W-Einfallen) in westliche Richtung geschoben.

### Stop 44

Lokalität: auf der Höhe von Stop 43

Aufschluß: Anschnitt der Einheiten in einem derzeit ausgetrockneten Bachbett. Basement (kambisch) mit Phylliten.

Gesteinsbeschreibung: Aufgeschlossen sind hier Phyllite (Sericit-Chlorit) und Mergel. Das Basement wird generell aus relativ schwach metamorphen Gesteinen mit basischen-ultrabasischen Einschaltungen und N-S bzw. O-W verlaufenden Mylonitzonen aufgebaut.

Die Phyllite fallen hier in Richtung Osten ein. Choiyoi-Gruppe und die ordovizischen Einheiten sind miteinander verschuppt und werden von weiträumig verfalteten, karbonen Einheiten (Sandsteine, Mergel und einige Metapelite) überschoben.

### Stop 45

Lokalität: einige km entlang der Straße Richtung Santa Elena, GPS: S 32° 37.187' W 69°16.318'

Aufschluß: steile Wand am Rande der Straße. Tertiäre Fanglomerate.

Gesteinsbeschreibung: Bei Fanglomeraten handelt es sich um matrixgestützte Konglomerate, deren Komponenten deutlich metamorphe Gefüge zeigen. Da die Komponenten jedoch nicht besonders gut gerundet sind, lassen sie den Schluß auf relativ schnelle Ablagerung zu. Hauptbestandteil der Komponenten sind Serpentinite, Gabbros und Phyllite (Basement).

Die Fanglomerate (Tertiär) liegen horizontal auf Tuffiten der Choiyoi-Gruppe und verwittern deutlich langsamer als diese. Hierbei wird die markante Morphologie, wie auf Abb. 15 zu sehen ist, produziert.

### Stop 46

Lokalität: El Chiflon (2498 m), GPS: S 32°36.307' W 69°14.477'

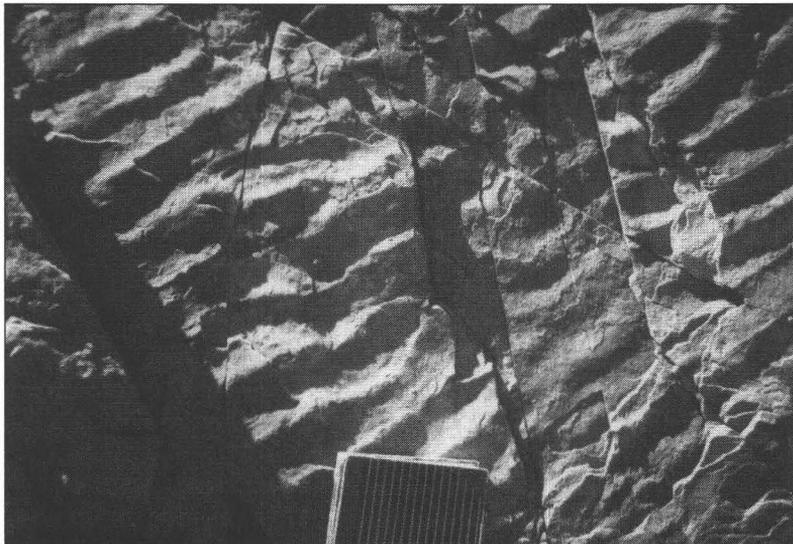
Aufschluß: Straßenaufschluß, karbone Sandsteine

Gesteinsbeschreibung: Die relativ feinkörnigen und massigen marinen Sedimente zeigen hier schöne Sedimentstrukturen, wie Rippel (Abb. 16), Kreuzschichtungen und "cone in cone"-Strukturen. Im Liegenden der Sandsteine befinden sich feinstkörnige Graphitschiefer mit Fossilien (Brachiopoden) und Pseudofossilien (Helminthoideen).



**Abb. 15**

*Tertiäre Fanglomerate liegen horizontal gelagert auf Tuffiten der Choiyoi-Gruppe.*



**Abb. 16**

*Rippelstrukturen in karbonen Sandsteinen.*

#### Stop 47

Lokalität: GPS: S 32°37.745' W 69°13.403'

Aufschluß: Mafite in Phylliten (neben der Straße)

Gesteinsbeschreibung: In dieser riesigen Störungszone stehen karbone Sedimente des Basements im Kontakt mit basischen Linsen. Der Körper steckt als 10-er Meter große Linse in den Phylliten. Die Linsen sind zoniert, mit feinkörnigen Randbereichen und grobkörnigeren Anteilen im Zentrum (Px + Am + Plag ± Ol). Die Mafite stellen ehemalige Sills dar, die in der Nähe eines mittelozeanischen Rückens in die Phyllite intrudiert sind.

#### Stop 48

Lokalität: Mina Santa Elena, S 32°38.270' W 69°12.256'

Aufschluß: an Ultramafite gebundene Talk- und Serpentinlagerstätte (ehemalige Mine).

Gesteinsbeschreibung: Die Ultramafite (Bonilla-Formation) zeigen grünlich bis weiße, seltener auch rötliche (Oxidation von FeO) Verwitterungsfarbe und brechen muschelig bis faserig. Die stark serpentinierten Körper haben durch den großen Fluiddurchsatz massiv Talk ausgebildet, der hier abgebaut wurde. Serpentin (Antigorit) wird teilweise bis zu mehrere Zentimeter groß. Zusammenhang zum umgebenden Gestein. Am Rand der Linsen befinden sich horizontal gelagerte Schwarzschiefer auf Basementphylliten.

### **CORDILLERA PRINCIPAL (HIGH CORDILLERA, HC)**

#### **13. Exkursionstag**

Ausgangspunkt: Uspallata, Profil Richtung Westen.

#### Stop 49

Lokalität: Pampa de Tabolango, S 32°37.240' W 69°25.070'

Gesteinsbeschreibung: Das Cordon del Tigre wird hauptsächlich aus der Choiyoi Gruppe aufgebaut und erstreckt sich in N-S Richtung. Dieser Gebirgszug wird durch eine N-S Störung abgeschnitten, die im Süden das Mendoza River Valley bildet und im Norden die Cordon del Tigre Fault repräsentiert. Diese Störung hat etwas weiter im E parallele Störungen, die man aus dem Luftbild gut erkennen kann ("Frontal Cordillera eastern fault system").

Im östlichen Block dieser Störung wird die Choiyoi-Gruppe von Westen nach Osten über karbone Einheiten geschoben. Weiters ist zu sehen, daß sich der Mendoza River tief in die tertiären bzw. quartären Sedimente hineingegraben hat, was somit einen Beweis für die rezente Anden-Tektonik darstellt.

#### Stop 50

Lokalität: Penitentes, S 32°50.019' W 69°51.922'

Aufschluß: Grenze zwischen Frontal Cordillera (FC) und Cordillera Principal (HC)-Überschiebungsfront des Aconcagua fold and thrust belt.

Gesteinsbeschreibung: Der Punta de Vacas-Granit intrudiert die La-Plata-Formation. Weiters werden miozäne Konglomerate (hauptsächlich Fanglomerate) der Santa-Maria-Formation von jurassischen Kalken überschoben. Weiter westlich intrudiert der Cruce-de-Cana-Granit die La-Plata-Formation.

### Stop 51

Lokalität: nahe Puente del Inka

Aufschluß: östlichste Überschiebungsfrent zwischen der Frontal Cordillera und der Cordillera Principal

Gesteinsbeschreibung: Die jurassische La-Manga-Formation (hell weißlich bis rötlich verwitternde Kalke) wird in westlicher Richtung über die La-Plata-Formation geschoben und liegt nun zwischen der Santa-Maria-Formation im Hangenden und der La-Plata-Formation im Liegenden.

### Stop 52

Lokalität: Puente del Inka, auf der Höhe vom Aconcagua, GPS: S 32°49.456' W 69°56.523'

Aufschluß: 2. Überschiebungsfrent

Mitteljura ist über früher Kreide gelagert (HC), die von Trachytgängen durchschlagen wird. Weiterfahrt zum Horcones Valley mit Aussicht auf den Aconcagua (7021 m)

### Stop 53

Lokalität: Grenze zu Chile, GPS: S 32°48.376' W 70°04.008'

Aufschluß: Oberkretazische verfaltete Andesite werden von jungen Basaltgängen regellos durchschlagen (HC).

## Literatur

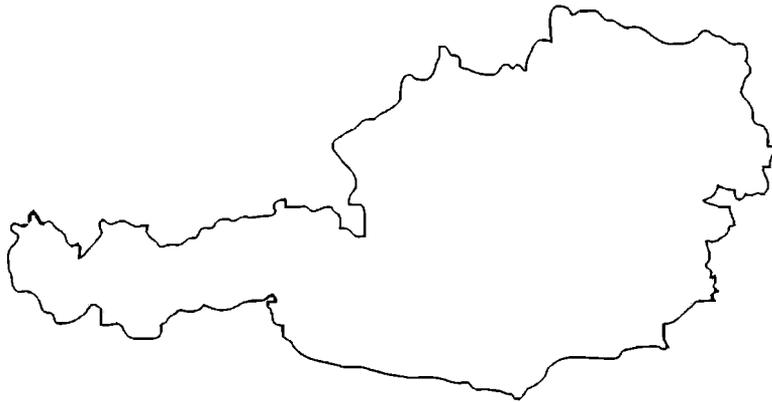
- BONIN, B. (1982): Les granites des complexes annulaires. - Manuals et Methodes: Orleans, Bureau des Recherches Géologiques et Miniers, 184.
- de BRITO NEVES & B. B., CORDANI, U. G. (1991): Tectonic Evolution of South America during the Late Proterozoic. - In Precambrian Research, Vol. 53, 23-40.
- CAFFE, P.J. (1993): Petrologia y estructura del area comprometida entre las localidades de la Fronda y Quilpo Sud, Departamentos de Punilla y Cruz del Eje, Provincia de Cordoba. - Facultad de Ciencias exactas Fisicas y Naturales, National Universität von Cordoba. Trabajo Final. 1-236.
- CAFFE, P. J. & BALDO, E. (1996): Estructura del Basamento Metamorfico en el bloque situado al oeste de la Sierra Chica y grande de Cordoba. - Actas 2 Congreso Iberoamericano de Geologia Economica, Buenos Aires, 1, 9-35.
- CHAPPELL, B. W. & WHITE, A. J. R. (1974): Two contrasting granite types: Pacific Geology, 8, 173-174.
- CINGOLANI, C. A. & VARELA, R. (1975): Geochronologia Rb/Sr de rocas igneas y metamorficas de la Sierra Chica y Grande de Cordoba. - Actas 2nd Congreso Iberoamericano de Geologia Economica, Buenos Aires, Argentina, 1, 9-35.
- DALLA SALDA, L. H. (1984a) : La estructura intima de la Sierra de Cordoba. - Revista de la Asociacion Geologica Argentina, 39 (1-2), 38-51.
- DALLA SALDA, L. H. (1984b): La estructura mesoscopica del basamento cristalino en el area del Rio Primero, Cordoba. - Actas 90 Congreso Geologico Argentino, 2, 191-203.
- DALLA SALDA, L. H. (1987): Basement tectonics of Southern Pampeanas Ranges, Argentina. - Tectonics, 6 (3), 249-260.
- DEMANGE, M., BALDO, E. G. & MARTINO, R. D. (1993): Structural evolution of the Sierra de Cordoba (Argentina). - Second Symposium of Andean Geodynamics. Oxford. 5, 35-41.

- DEMANGE, M., ALVAREZ, J. O., LOPEZ, L. & ZARCO, J. (1993): Existencia de series magmaticas diferentes en el batolito del Achala (Cordoba, Argentina). XII Congreso Geologico Argentino II Congreso Exploracion Hidrocarburos, Tri Actas IV, 23-29.
- ESCAYOLA, M.P., RAME, G. A. & KRAEMER, P. E. (1996): Caracterizacion y significado geotectonico de las fajas ultramaficas de las Sierras pampeanas de Cordoba. - XIII Congreso Geologico Argentino y III Congreso de Exploracion de Hidrocarburos, Actas III: 421-438.
- ESCAYOLA, M. P. & KRAEMER, P. E. (1997): Sintesis de los eventos tectotermicos del basamento de las Sierras pampeanas de Cordoba. - Revista de la Asociacion Geologica Argentina, 52 (4), 451-458.
- GORDILLO, C. E. & LENCINAS A. N. (1979): Sierras Pampeanas de Cordoba y San Luis. Apartado de Geologia regional Argentina. - Academia Nacional de Ciencias, Cordoba, I, 577-650.
- GORDILLO, C. E. (1984): Migmatitas cordieríticas de la sierra de Cordoba; condiciones fisicas de la migmatizacion. - Miscelanea, Academia nacional de Ciencias, Cordoba, 68, 1-40.
- GREGORI, D. & BJERG, E. (1999): Field Guide, precordillera, cordillera frontal, cuenca cuyana, cordillera principal: unpublished. - Univ. Bahia Blanca, Argentina. 1-33
- HAUZENBERGER, C.A., MOGESSIE, A., HOINKES, G., FELFERNIG, A., BJERG, E. A., KOSTADINOFF, J., DELPINO, S. & DIMIER, L. (1999): Metamorphic Evolution of the Sierras de San Luis, Argentina: Granulite Facies Metamorphism Related to Mafic Intrusions. - (submitted to Journal of Metamorphic Geology)
- HAUZENBERGER, C.A., MOGESSIE, A., HOINKES, G., BJERG, E. A., KOSTADINOFF, J., DELPINO, S. & DIMIER, L. (1997): Platinum Group Minerals in the Basic to Ultrabasic Complex of the Sierras de San Luis, Argentina. - In: H. PAPUNEN, editor, Mineral Deposits: Research and Explorations: Where do they meet?, 439-442, A.A.Balkema, Rotterdam.
- JORDAN, T. E., ISACKS, B. L., RAMOS, V. A. & ALLMENDINGER, R. W. (1983): Mountain Building in the Central Andes. - In: EPISODES, Vol. 11 (3), 20-26.
- LIRA, R. & KIRSCHBAUM, A. M. (1990): Geochemical evolution of granites from the Achala batholith of the Sierras Pampeanas, Argentina. - In: KAY S.M. & RAPELA C.W. (eds) Plutonism from Antarctica to Alaska. - Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 241, 67-76.
- MARTINO, R. D. (1988): Geología y petrología del basamento metamorfoico de la region situada al norte de Cuchilla Nevada, Sierra Grande de Cordoba. - Universidad Nacional de Cordoba, Tesis Doctoral, 162.
- MOGESSIE, A., HAUZENBERGER, C.A., HOINKES, G., FELFERNIG, A., STUMPFL, E.F., BJERG, E. A. & KOSTADINOFF, J. (1996): Platinum Group Minerals from the Las Aguilas Ultramafic Unit, San Luis Province, Argentina. - Mitt. österr. Min. Ges. 141, 157-159.
- MONSBERGER, G. (1990): Geological and petrological study on the granite from Mesa de Muela Muerta and its host rock. Olean Pampas, Pumilla District, Province of Cordoba. - Argentina. Masters.
- PASTORE, F. (1932): Hoja 20i del Mapa geologico de la Argentina; Region oriental y media de la Sierra de Cordoba. - Direction de Minas y Geología Boletin 30, 67.
- PEARCE, J. A., HARRIS, N. B. & TINDLE, A. (1984): Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. - Journal of Petrology, 25, 4, 956-983.
- PITCHER, W. S. (1982): Granite type and tectonic environment. - In: HSÜ, K.J., Mountain building processes. London, Academic Press, 19-40.
- RAMOS, V. A. (1988): Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America - a Collisional History. - In: EPISODES, Vol. 11, 168-174.
- RAMOS, V. A. (1988): The tectonics of the Central Andes, 30 to 33 S latitude. - In: Geological Society of America, Special Paper 218, 31-35.

- RAMOS, V. A. (1990): Field Guide to the Geology of the Central Andes (31 SL). - International Union of Geological Sciences, Universidad de Buenos Aires, 1-10.
- RAPELA, C. W., PANKHURST, R. J., KIRSCHBAUM, A. & BALDO, E. (1991): Facies intrusivas de edad Carbonifera en el batolito de Achala: evidencias de una anatexis regional en las Sierras Pampeanas. - In: 6 Congreso Geologico Chileno, 41-43.
- RAPELA, C. W., PANKHURST, R. J., CASQUET, C., BALDO, E. & SAAVEDRA, J. C. (1997): Low-Pressure anatexis during the pampean orogeny. - Universidad Catolica del Norte departamento de Ciencias Geologicas VIII congreso Geologico Chileno Actas Vol III, 1714-1718.
- RAPELA, C. W., PANKHURST, R. J., CASQUET, C., BALDO, E., SAAVEDRA, J. & GALINDO, C. (1998): Early evolution of the Proto-Andean margin of South America. - *Geology*, 26, 707-710.
- WHITE, A. J. R. & CHAPPELL, B. W. (1977): Ultrametamorphism and granitoid genesis Tectonophysics. - 43, 7-22.
- WHITE, A. J. R., BEAMS, S. & CRAMER, J. J. (1977): Granitoid types and mineralizations with reference to tin. - In: NOZAWA, T. & YAMADA, N., eds, Plutonism in relation to volcanism and metamorphism. - Japan, Toyama, 89-100.

bei der Redaktion eingegangen: 21. Oktober 1999  
revidiertes Manuskript angenommen: 10. November 1999

**DIPLOMARBEITEN UND DISSERTATIONEN  
ÖSTERREICHISCHER UNIVERSITÄTEN  
(AUSZÜGE)**



**GEOCHEMICAL STUDIES ON SOIL PROFILES, GROUND WATER AND THEIR  
ENVIRONMENTAL IMPACTS AROUND THE INDUSTRIAL AREA OF KAFR ELZAYAAT,  
NILE DELTA, EGYPT**

by

**Hassan Aboughalma**

Diplomarbeit zur Erlangung des Magistergrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Petrologie  
Wien, Juli 1999

The present study is devoted for the Nile Delta soils and ground water around the industrial area of Kafr Elzayaat about 25 km WNW of Tanta. The study area including the city of Kafr Elzayaat and surroundings is in general an intensively cultivated farm land. This intensive cultivation goes hand in hand with intensive application of fertilizer and pesticide. Kafr Elzayaat is a famous industrial city. There are many industrial plants in the city with different production aims. The main industrial plants are fertilizer, pesticide and chemical industries which lie directly or close to the River Nile which serves as drain for their untreated waste water. Around the city there are many brick kilns which use(d) the fertile Delta soil for brick production, and release big amounts of unfiltered smoke into the atmosphere.

The aim of this study is to evaluate possible environmental hazards and ground water impacts using granulometric, mineralogical and chemical analyses of soil and ground water samples. For further identification of pollution, other advanced methods such as AAS-GF, IC and spectrophotometry were applied.

With especial reference to circumstances around the study area, such as climate, land and water use, demography and industry, sixteen soil profile localities were selected using a random sampling raster method to check out a possible soil contamination and if the soil has a protection (puffer) function in protecting the shallow ground water aquifer.

Samples were collected from 14 soil profiles, at depths of 0.05 m, 0.3 m and 1 m. Grain size analysis was done to define the nomenclature of samples. Soil in the study area is generally of clayey silt type. X-ray analysis of samples revealed that these sediments are composed of quartz, plagioclase, alkali feldspar, calcite, ankerite/dolomite, Fe-oxides and clay minerals. The clay minerals are mainly smectite, kaolinite and chlorite. The clay fraction is composed mainly of smectite with few amounts of kaolinite and chlorite. Their assemblages are similar to other parts of the Nile Delta.

Three major and eight , environmentally relevant, trace elements were measured by XRF to define their bulk concentrations in soil samples. The detected element concentrations were compared with international soil standards to define polluted samples and possible pollution source(s). The elements Co and Zn lay under the maximum tolerable concentration in international soils and Mn content is generally low. High Cu and Ni values could be of urban and industrial origin, high Cr and V of industrial origin and high P of industrial and agricultural sources. Soils in the study area are fine-textured, highly alkaline, have medium OC and very high EC.

Soil samples were leached with water to define the water-soluble substances which could migrate into the shallow aquifer. High concentrations of Co, Cr, Fe, V, Ni and Cu in elution were determined. They could be a subject of wash-out under lower soil pH conditions. Chloride, nitrate and phosphate decrease with increasing depth, which could mean that they are not subject of wash-out.

Ground water samples were analysed to determine their suitability for drinking, and if there is a relation between element concentration in soil, in elution and in ground water. The ground water quality in the study area is generally good, except for the elements Fe, Mn, and Hg and  $\text{KMnO}_4$ -index which could be due to soil leaching by polluted irrigation water or from other point sources, such as cesspools, in the study area.

**GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CONDITIONS FOR THE OCCURRENCE  
OF GOLD IN DUL AREA; WESTERN ETHIOPIA**

by

**Masresha Mamo Bekele**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Petrologie  
Wien, Dezember 1999

Dul is located in western Ethiopia, about 800 km from Addis Ababa and 12 km east of Ethio-Sudan border at 34°20' longitude E and 10°20' latitude N. Dul is a part of the Pan-African Orogenic-Belt and lies within the volcano sedimentary rocks of the Arabo-Nubian Shield (VAIL, 1983). Based on rock types, degree of metamorphism and structure, the Basement rocks of Ethiopia are classified into three major complexes: Lower, Middle and Upper complexes. The Lower Complex rocks are high grade granulite facies and are Pre-Panafrican orogeny. Whereas, the Upper Complex rocks are metamorphosed from greenschist to lower amphibolite facies and are constituted in Pan-African Orogeny (KAZMIN, 1979). The contact between Lower and Upper Complex is structurally controlled. It is along this structure that important mineralization are occurring. Two types of tectonic models were forwarded to explain the structural frame work of the basement rocks of Western Ethiopia. The first is by AMENTI, 1989, which is strike slip transcurrent model and the second one is opening and closing of the sea (KAZMIN, 1979; SENBETO & DE WIT 1981, AYALEW & PICCERRILLO, 1998). The lithogeochemistry of the underlying gabbroic intrusion of Dul area favors opening and closing model.

The main rock types that crop out in Dul area include basic metavolcanic and metasedimentary that are deformed, altered and metamorphosed from greenschist to lower amphibolite (BUCHER et al., 1994). Though not economic, gold is the main mineralization that was seen on the top of mount Dul, associated with pyrite, chalcopyrite, pyrrohotite, scheelite, monazite and magnetite. Gold in Dul area has got different modes of occurrences. It occurs at different depths and horizons as fracture filling in quartz vein, associated with silicified, carbonitized, sericitized and sulfidized rocks.

Fluid inclusion geothermometry investigation from gold bearing quartz vein indicated homogenization temperature of 345°C. Furthermore, calcite-quartz mineral pair oxygen geothermometry showed a temperature of 380°C. Overlap of these facts reveals that the gold mineralization in Dul area has taken place between the temperature ranging from 300°C - 400°C which is hydrothermal condition of hydrothermal deposit.

Sulfur and carbon isotope geochemistry is useful in indicating the physico-chemical condition and the origin of mineralizing fluid (OHMOTO, 1972). The observed isotopic composition of sulfur in gold bearing pyrite,  $\delta S^{34} = + 3.2 \pm 0.2$  per mil and carbon in calcite,  $\delta C^{13} = -5.2 \pm 0.0089$  per mil, indicate magmatic hydrothermal origin with pH around neutral (pH = 7) and intermediate oxidation state,  $\log f_{O_2} = -37$  (OHMOTO, 1972). Gold could be transported in different forms of thio-complexes ( $AuHS_2^{-1}$ ,  $Au_2HS_2S^{-2}$ ,  $AuHS^{\circ}$ ) and precipitation of gold could have taken place due to sulfidation of the wall rock (SEWARD, 1973)

One of the uses of alteration zones is determination of the ages of the associated mineralization (EVANS, 1987). The  $^{40}Ar$ - $^{39}Ar$  ages determined from gold bearing sericitized rocks indicate,  $565.1 \pm 4.6$  ma. This age was taken to be the age of the associated gold mineralization. Biotite samples from underlying altered gabbroic intrusion indicate younger ages of  $555.7 \pm 3.8$  ma. The difference between the two ages (sericite and biotite) which is about 10 ma was interpreted to be the time required by the intrusive body (gabbro/diorite) to cool from  $350^{\circ}C \pm 50^{\circ}C$  to  $250^{\circ} \pm 40^{\circ}C$ , which are the closure temperatures of sericite and biotite, respectively (FAURE, 1986) Therefore, based on (1) the association of sericite with gold (2) the homogenization temperature of fluid inclusion ( $345^{\circ}C$ ), (3) Oxygen isotope geothermometry, ( $370$ – $380^{\circ}C$ ) and (4) mineralogical association of gold, scheelite pyrite, pyrrohotite, calcite, tourmaline, gold mineralization in Dul area has taken place at temperatures ranging between  $300$ – $400^{\circ}C$ , associated with different alteration zones such as, sericitization, silicification, sulfidation and carbonitization around  $565.1 \pm 4.6$  ma, genetically related to the surrounding gabbroic/dioritic intrusion, with contribution from the surrounding country rock.

**GEOLOGY, GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF GOLD MINERALIZATION  
OF THE OKOTE AREA, SOUTHERN ETHIOPIA**

by

**Deksissa Debele**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Geochemie  
Wien, März 2000

This study deals with ductile shear zone-hosted mesothermal gold mineralizations of the Okote area, which is located in the southern part of the Adola Belt in southern Ethiopia. The Okote area comprises intensely deformed mid- to upper-amphibolite facies biotite-quartzofeldspathic gneiss and amphibole-quartzofeldspathic gneiss of sedimentary origin, ophiolitic mafic-ultramafic rocks of greenschist facies, syntectonic calc-alkaline metatonalite of sub-greenschist facies, syn- to late collision meta-granite, and ocean floor plagiogranite.

The mafic-ultramafic rocks consist of metamorphic peridotite, ultramafic cumulate, meta-gabbro, amphibolite, and meta-volcanic rocks, whose Sm-Nd whole rock dating yielded a  $750 \pm 24$  Ma magma formation age. Detailed major and trace element analyses of whole rock samples from mafic-ultramafic rocks, using instrumental neutron activation analyses (INAA), inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), and X-ray fluorescence spectrometry (XRF), as well as interpretation of the data using various discriminant diagrams, revealed that they fractionally crystallized from a low potassium tholeiitic magma that was emplaced at an island arc environment by partial melting of depleted mantle.

Three N-S striking shear zones, with different intensity of shearing and hydrothermal alteration, cut the mafic-ultramafic rocks. The gold-mineralized parts of these shear zones reveal a zoning from altered protoliths at shear boundaries, a transitional zone to a mylonitic zone at the central part of the shear zones. High abundances of quartz-carbonate-tourmaline veins and gold mineralization occur mainly in the mylonite zone. Native gold occurs mainly in these veins and in their wallrocks. The ore minerals associated with gold are mainly pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite, as well as accessory chalcocite, covellite, galena, and melonite ( $\text{NiTe}_2$ ).

Three mineral parageneses associated with hydrothermal alteration  $\pm$  gold mineralization have been determined. They are epidote - ferro-amphiboles - magnetite, chlorite - ankerite - K-feldspar - pyriteI - pyrrhotite - tourmaline - chalcopyriteI and chlorite - calcite - biotite - pyriteII - gold - chalcopyrite II - tourmaline - galena.

The textural relationships between alteration minerals indicate that epidote, ferro-amphiboles and magnetite formed first, followed by chlorite, ankerite, pyrrhotite, chalcopyrite I and K-feldspar, and, finally, calcite, chlorite, biotite, tourmaline, gold, and galena.

Chlorite geothermometry gives temperatures of chlorite formation at 230°C to 410°C with modes at 250°C, 340°C and 380°C. Chemical mass balance studies of the samples from meta-gabbro and alteration products reveal the additions of  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ , volatiles, Sr, Cu, and Ba, into wall-rock and loss of MgO, CaO, and  $SiO_2$  from the wallrock to the veins that accompany the mineralization. Au contents of hydrothermally altered wall-rock show strong positive correlations with the abundances of the large-ion lithophile elements (LILEs). Chondrite-normalized Rare-Earth Elements (REE) patterns of samples from alteration zones show light REE enrichments in hydrothermally altered meta-gabbro, a flat pattern with a positive Eu anomaly in the epidote-amphibole-magnetite-rich transitional zone, and heavy REE enrichments with a negative Ce anomaly in the mylonite zone. Fluid inclusions in auriferous quartz veins are aqueous-carbonic inclusions with low salinity (< 6.59 wt.% NaCl equivalent), 0.38 to 0.90 g/cm<sup>3</sup> density, and 218°C to 345°C homogenization temperature. Most of the inclusions decrepitate at 220°C to 388°C. Stable isotope ratios of sulfur, carbon, and oxygen indicate a predominance of deep-seated fluids of metamorphic and magmatic signature.

Considering the combined geological, structural, mineral chemistry, wallrock geochemistry, fluid inclusion and isotopic data presented in this work, I conclude that the Okote gold mineralization is formed by interaction of structurally focused deep-seated auriferous fluid with mafic-ultramafic rocks of the ophiolitic sequence.

**PETROLOGISCHE UND GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN AN CHARNOCKITEN  
UND DEREN BEGLEITSERIEN IM SÜDEN VON MINAS GERAIS, BRASILIEN**

von

**Almut Engler**

Diplomarbeit zur Erlangung des Magistergrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Petrologie  
Wien, August 1999

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Untersuchung eines archaischen bis proterozoischen Abschnittes der tiefen Kruste im Süden des brasilianischen Bundesstaates Minas Gerais, in der Umgebung der Stadt Perdões, etwa 200 km südwestlich der Bundeshauptstadt Belo Horizonte. Geologisch gehört das Gebiet dem Basement des São Francisco Kratons an, und wird aus Charnockiten, Enderbiten, Orthogneisen, Gabbros und ultrabasischen bis basischen Kumulaten aufgebaut. Da das Gebiet noch weitgehend unbearbeitet ist, war das Ziel dieser Arbeit – aufbauend auf ersten Bearbeitungen von QUÉMÉNEUR (1995, unpubliziert) – eine eingehende geologische, petrographische und geochemische Charakterisierung der metamorphen Serien in der Umgebung von Perdões, sowie eine Rekonstruktion der PT-Geschichte des Komplexes.

Die Gesteinssequenz zeigt die typischen geochemischen Charakteristika einer bimodalen archaischen Krusten-Suite. Die Hauptmasse des Gebietes wird von Charnockiten und Enderbiten gebildet. Darin befinden sich Linsen von Gabbros, Kummulatgabbros, sowie ultrabasischen Kummulaten, die über wenige Meter bis zu mehreren Kilometern aufgeschlossen sind. Im Norden des Arbeitsgebietes treten Orthogneise auf, deren Zusammenhang mit dem untersuchten Gesteinskomplex nicht eindeutig geklärt werden konnte.

Die Charnockite, welche granitische bis granodioritische Zusammensetzung zeigen, bestehen überwiegend aus Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas. Mafische Minerale variieren je nach Stadium der retrograden Überprägung. Die Pyroxene sind zum Großteil bereits vollständig zu Aktinolith und Ferro-Tschermakit sowie Biotit alteriert. Weiters treten sekundär Epidot, Serizit und Chlorit auf. An Akzessorien findet man opake Mineralphasen, Zirkon, Apatit, Titanit und alterierten Orthit. Die Seltenen Erden zeigen typische Granit-Verteilungsmuster (Abb. 1), mit starker Anreicherung der REE und steilem Abfallen von den LREE hin zu den HREE, sowie stark ausgeprägten negativen Eu-Anomalien. Nach TAYLOR & MC LENNAN (1988) sind solche REE-Verteilungsmuster auf partielle Aufschmelzung innerhalb der Kontinentalen Kruste in Tiefen von etwa 15–30 km (Tiefen < als 40 km) zurückzuführen, wo Plagioklas als stabile Residual-Phase existiert.

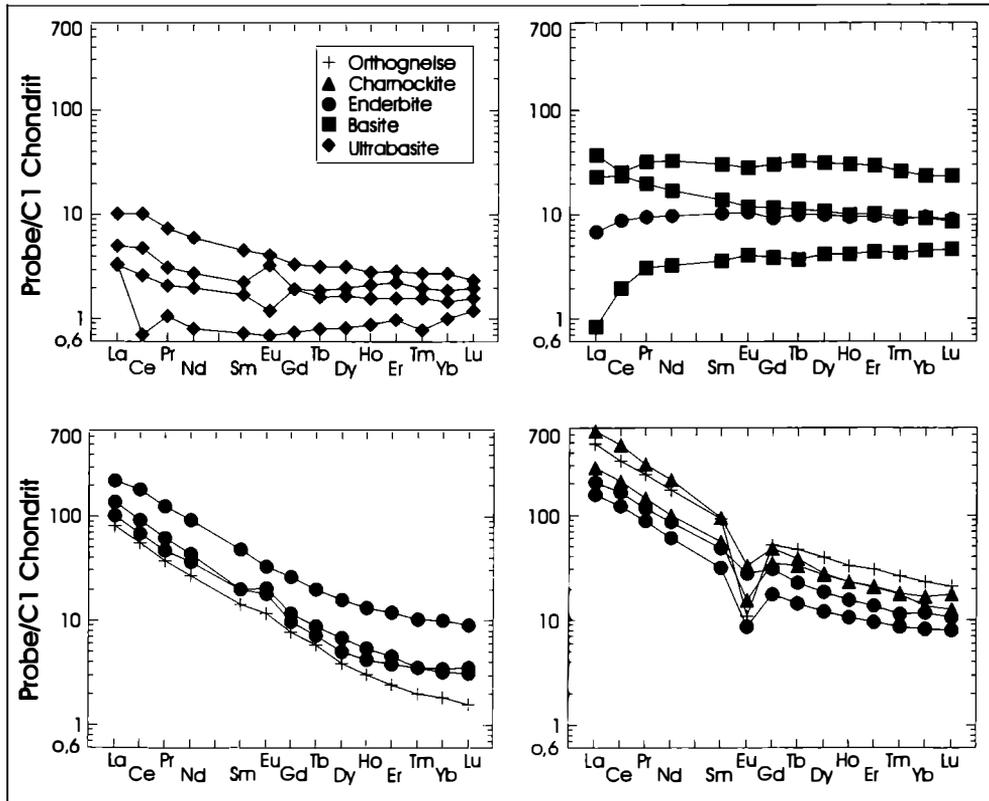


Abb. 1

Chondritnormierte REE-Verteilungsmuster; Normierung nach SUN & McDONOUGH (1986); Elementangaben in ppm.

Die Enderbite haben tonalitische bis trondhjemitische Zusammensetzung. Sie weisen einen deutlich geringeren Quarz-Gehalt, jedoch höheren Plagioklas-Gehalt auf als die Charnockite. Ortho- sowie Klinopyroxene sind meist gut erhalten und werden randlich retrograd durch blättrigen Ferro-Tschermakit sowie durch Aktinolith ersetzt. Die Enderbite zeigen sehr einheitliche REE-Verteilungsmuster mit dem typischen Verlauf für Unterkrusten-Gesteine (Abb. 1). Es handelt sich um steile Kurven, die stark an La-Sm angereichert und an Gd-Lu abgereichert sind. Die steilen Lanthaniden-Verteilungsmuster spiegeln ein Equilibrium mit einem granatführenden Residuum wider und weisen somit auf partielle Aufschmelzung eines basaltischen Gesteines in Manteltiefen von mehr als 60 km hin, in denen Granat als stabile Residual-Phase vorliegt.

Die gabbroiden Gesteine bestehen aus Klinopyroxen, Orthopyroxen, Plagioklas, Amphibol, Quarz, Talk, sowie opaken Phasen. Akzessorisch treten untergeordnet Spinell und Apatit auf. Anhand der Haupt- und Spurenelementanalysen können die gabbroiden Gesteine in zwei Gesteinsgruppen unterteilt werden: Überwiegend treten Gesteine mit tholeiitischem Charakter auf, untergeordnet Mela-Gabbros mit kalkalkalinem Chemismus.

Die Gruppe der Mela-Gabbros stellt gemeinsam mit den Ultrabasiten die Kumulatsequenz zu den Gabbros dar. Die Gabbros zeigen relativ flache, für archaische Tholeiite typische REE-Verteilungsmuster (Abb. 1). Die Gesteine sind durch hohe Aufschmelzraten direkt aus einer Mantelquelle gebildet worden. Die Mela-Gabbros zeigen für Kumulate typische, niedrige Gehalte an Seltenen Erden.

Die Ultrabasite können in Peridotite und untergeordnet Pyroxenite eingeteilt werden. An primären Phasen liegen Orthopyroxen, untergeordnet Klinopyroxen, Olivin-Relikte, grüner Spinell und opake Phasen vor. Retrograd entstehen vor allem Amphibol, Serpentin, Talk, Karbonat und Chlorit. Anhand der Verteilung der Seltenen Erden kann vor allem die Aussage gemacht werden, daß die Gesteine aus basaltischen Schmelzen fraktioniert wurden, und es sich nicht um Mantel-Restite handelt (Abb. 1). Darauf weisen auch die niedrigen  $X_{Mg}$ -Werte aller Ultrabasite (0.74–0.82) hin.

Die Charnockite, Enderbite, Gabbros, sowie die Kumulate zeigen eine einheitliche PT-Entwicklung. Informationen über die geothermobarometrische Geschichte der Gesteine wurden aus den Dünnschliff-Texturen und Mineralparagenesen, sowie durch thermodynamische Berechnungen gewonnen. Mittels thermometrischer Kalkulationen an unterschiedlichen Systemen (Amphibol, Plagioklas, Orthopyroxen, Klinopyroxen, Olivin und Spinell) konnten relativ einheitliche amphibolitfazielle Temperaturen zwischen 600–700°C in allen Gesteinsgruppen zu einem angenommenen Druck von 6 kb festgestellt werden. Die Gesteine sind vollkommen reequilibrirt, es konnten keine Relikt-Temperaturen der Granulitfazies mehr festgestellt werden. Aufgrund der Anwesenheit von Pyroxen in den sauren und intermediären Gesteinen können jedoch für die Gesteinssequenz granulitfazielle Bildungsbedingungen angenommen werden, die in weiterer Folge, im Zuge der Exhumation, amphibolitfaziell stark überprägt wurden. Als letztes Ereignis zeigen die Gesteine eine geringfügige grünschieferfazielle Überprägung.

## Literatur

- QUÉMÉNEUR, J.G. (1995): Os Magmatismos de idade Arqueana e Transamazônica na região Campos das Vertentes, MG, Sul do Cráton do São Francisco, com base em dados geoquímicos e geocronológicos. - Tese para concurso de Professor Titular, IGC/UFMG, Belo Horizonte/MG; unpubl.
- TAYLOR, R.S. & McLENNAN, S.C. (1988): The Significance of the Rare Earths in Geochemistry and Cosmochemistry. In: GSCHNEIDER, K.A. & EYRING, L. (eds.) Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths.- Elsevier, 11: 485-578. Amsterdam.

**PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGY OF VOLCANIC ROCK SUITES  
OF THE DODOLA AREA, SOUTHEASTERN ETHIOPIA**

by

**Hambisa Gobena**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Petrologie  
Wien, Juli 2000

The Dodola area is located in the southeastern Ethiopian plateau, and is built of two co-existing bimodal alkaline magma series. This includes the Late Oligocene Lower (pre-rift) basanite-phonolite lineage and the Mid Miocene-Late Pliocene Upper (rift-type) basanite/alkali basalt-trachyte/rhyolite lineage. The rocks are fairly porphyritic to aphyric; the essential minerals are olivine, clinopyroxene, and plagioclase in the mafic lavas, and feldspars, clinopyroxene, and titanomagnetite in the salic lavas with minor apatite and ilmenite in some rocks. The petrological and geochemical data imply that fractional crystallization is the major process responsible for the evolution of both lava series. Major element chemistries display features agreeable with extraction of olivine, clinopyroxene, and plagioclase from mafic magmas followed by feldspars, titanomagnetite, and apatite from felsic ones. The chondrite-normalized REE patterns show gentle to moderate slopes and small positive Eu-anomalies in mafic and intermediate lavas (plagioclase accumulation) and strongly negative Eu-anomalies in felsic lavas (feldspar fractionation). Primitive mantle-normalized profiles of felsic rocks verify fractionation of plagioclase, clinopyroxene, apatite, and titanomagnetite. Moreover, the reverse zoning in olivine and feldspars and inverse/oscillatory zonation in clinopyroxene are attributed to minor mafic magma mixing.

In the Upper series, the lavas mainly demonstrate initial Sr and Nd ratios of 0.70344–0.70441 and 0.51280–0.51265, respectively and positive epsilon Nd values. In the Lower series,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios of 0.70395–0.70398 and 0.51276–0.51270 were measured on mafic rocks and 0.70450–0.70663 and 0.51271–0.51268 on the phonolites, respectively. The strong similarities in Sr and Nd isotopic compositions of these lavas to basalts from western Ethiopia, the Afar, main Ethiopian rift, and Salali (Kenya) evidently suggest the existence of similar mantle beneath Ethiopia and Kenya. The mafic lavas show within-plate continental volcanic province. The fact that the Sr and Nd isotopic signatures and trace element abundance patterns of the rocks are closely similar to those of OIBs reinforces the assumption that they are derived from mantle plume. For a few felsic lavas, little crustal contamination and prolonged fractionation might have modified this distinct OIB geochemical characteristic.

In the Upper series, major element modelling using mass balance calculation reveals that removal of 87% olivine-clinopyroxene-plagioclase-titanomagnetite yields 13% hawaiite melt from basanitic magma. Taking the maximum enrichments of 4, 3.2, 3, and 2 respectively, for Rb, Nb, Zr, and Y, a trachyte melt obtained when the remaining melt (F) was 28%. In the Lower series, major element modelling indicates that extraction of 61 wt. % olivine-clinopyroxene-plagioclase-titanomagnetite produces 39% phonotephrite melt from basanitic magma. Fractional crystallization is further tested considering enrichments of 3, 2.7 and 2.4 respectively, for Rb, Nb, and Zr; and a phonotephrite residual formed when F was 36%.

Therefore, from all the available indications, it is concluded that the Dodola volcanics represent cogenetic suites, which possibly differentiated through repeated magmatic activities from OIB-type common 'picritic' ancestral magma (s) by means of low-pressure crystal fractionation, with less than 10 Ma repose period between the two major episodes.

**GEOCHEMISTRY, PETROGENESIS, U/PB- AND U/PB ZIRCON AGES OF  
GRANITOID ROCKS FROM WALLAGGA AREA, WESTERN ETHIOPIA**

by

**Tesfaye Kebede**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Geochemie  
Wien, Juni 2000

The western Ethiopian Precambrian rocks constitute two distinct rock associations, namely, the migmatized eastern and western high-grade gneisses and the central low-grade volcanosedimentary rocks with dismembered mafic-ultramafic (ophiolitic) associations. Both, the high- and low-grade rocks are intruded with intrusive rocks of a wide compositional spectrum, ranging from gabbros to granites. Geochemical characteristics, petrogenesis, tectonic setting and ages of formation of these intrusives are not well understood. Thus, this study used field relationships and modern analytical techniques, such as XRF, INAA, and ICP-MS, to obtain whole-rock major and trace element abundances, EMPA and SEM for mineral analyses, and TIMS for isotopic ratio measurements and age determinations of selected granitoid bodies.

The results have shown the presence of three granitoid types, viz., (1) the volcanic arc granite (VAG) represented by Ujjukka granite and granodiorite, Dhagaa Booqa granite, and Guttin K-feldspar megacrystic granite, (2) the anatectic Suqii-Wagga two-mica granite, and (3) the within-plate or anorogenic granitoids, including Tullu Kapii syenite, Ganjii monzogranite, Homa granite, and Tuppii granite. The VAGs originated in a two-step process in which batch equilibrium melting of basaltic or andesitic material producing tonalitic magma was followed by fractional crystallization. However, the relatively high Rb/Sr, Rb/Ba, and low CaO/Na<sub>2</sub>O (< 0.3) ratios in the Suqii-Wagga two-mica granite indicate derivation of the source magma from a plagioclase-poor pelitic precursor rock. Moreover, pronounced negative Eu anomalies and LILE modeling suggested fractional crystallization dominated by plagioclase. Garnet-biotite exchange thermometry and phengite barometry indicate crystallization of the Suqii-Wagga granite at  $\approx 7$  kb and  $\approx 670^\circ\text{C}$ . The anorogenic granitoids, on the other hand, range from peralkaline to metaluminous composition, with rare mildly peraluminous varieties. They are characterized by high total alkalis, FeO<sub>T</sub>/MgO ratios, REE, Y, Nb, Ta and low CaO, MgO, and Sr. Chondrite-normalized Rare Earth Element (REE) patterns show relatively enriched light REE, moderate to strong Eu negative anomalies, and more or less flat heavy REE distributions.

Wide ranges of major and trace element compositions among the various anorogenic granitoids are attributed to a variation of sources, crystal fractionation, and assimilation. The low initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  of 0.70281 and  $\epsilon_{\text{Nd}}$  values of  $> +4$  are consistent with generation of a monzodioritic magma (that fractionated into the Ganjii monzogranite) from accreted or underplated juvenile oceanic crust or subcontinental mantle. The Tullu Kapii syenite also yielded  $\epsilon_{\text{Nd}, 622 \text{ Ma}}$  of +2.4 and +3, consistent with the results obtained from the Ganjii monzogranite, suggesting generation from a similar source.

U/Pb and Pb/Pb zircon chronometry revealed that the VAG, as represented by the Ujjukka and Guttin granitoids, was emplaced at 815–730 Ma. The anatectic Suqii-Wagga granite and the Ganjii monzogranite were emplaced at  $\approx 700$  Ma and 620–625 Ma, respectively. This change of styles of granite magmatism in the study area from subduction-related VAG  $\rightarrow$  anatectic granite (possibly representing collisional orogeny)  $\rightarrow$  anorogenic granite is supported by the decrease of ages in the same direction.

The precambrian history in western Ethiopia was concluded by the  $\approx 630$  Ma tectonothermal event and subsequent anorogenic granite magmatism at 620–625 Ma. The emplacement of the sediment-derived Suqii-Wagga two-mica granite in the area and presence of inherited zircons of Mesoproterozoic-Archean ages in the granitoids emplaced in both the high- and low-grade terranes imply significant contributions of older, possibly mature, crustal material in the magmatic evolution of western Ethiopia.

PETROLOGISCHE UND GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN AN  
MIOZÄNEN VULKANITEN DES STEIRISCHEN BECKENS

von

**Georg Krumpel**

Diplomarbeit zur Erlangung des Magistergrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Petrologie  
Wien, Juni 2000

Das Steirische Becken liegt am Ostrand der Alpen und bildet das westlichste Subbecken des pannonischen Beckensystems. Bei den untersuchten Proben handelt es sich um Bohrkerne der Bohrungen Gleichenberg (Bohrung "Sternenwiese"), Mitterlabill, Walkersdorf und Paldau, weiters wurden Proben des "Tressensteinbruches" bei Gossendorf und Proben des "Basaltsteinbruches" bei Weitendorf untersucht. Die Mitterlabill-Proben sind high-K Andesite und high-K Dazite (kalk-alkalische Gesteine), bei allen übrigen Gesteinen handelt es sich im wesentlichen um Latite bzw. Shoshonite (alkalische Gesteine). K/Ar-Alter ergeben für Weitendorf ein Alter von  $14.0 \pm 0.7$  Mio.a, für die Latite aus Gossendorf ein Alter von  $13.0 \pm 1.0$  Mio.a (BALOGH et al., 1994). Die Bildung der Gleichenberg-Proben fällt in das Baden, die Bildung der Mitterlabill-Proben in das Karpat (EBNER & SACHSENHOFER, 1991).

Die geologische Geschichte des Steirischen Beckens ist mit einer extensionellen Phase (Karpat-Baden), welche mit einer Extrusion einzelner Krustenkeile vom Alpenkörper in Zusammenhang zu bringen ist, verbunden (SACHSENHOFER et al., 1997).

Die Proben aus Mitterlabill unterscheiden sich petrographisch von den übrigen Proben durch das Auftreten von Hornblende, bzw. durch das Fehlen von Klinopyroxen. Die meisten Proben zeigen aus petrographischer Sicht Hinweise auf schwache bis mittelmäßige Alteration, die tief-liegenden Dazite der Bohrung Mitterlabill sind stark umgewandelt. Sämtliche Texturen sind porphyrisch, zumeist ist eine fließförmige Anordnung der Matrixphasen Alkalifeldspat, Plagioklas und Quarz um die Einsprenglinge Klinopyroxen, Orthopyroxen, Amphibol (nur in Mitterlabill), Biotit und Olivin zu beobachten.

Die mineralchemischen Untersuchungen zeigen, daß einige Klinopyroxene der Probenpunkte Weitendorf, Gossendorf und Gleichenberg einen Saum auffallend primitiverer Zusammensetzung aufweisen, welcher den vergleichsweise höher entwickelten Kernbereich resorbiert. Ein solcher Saum wird mit dem Nachschub primitiven Magmas in Verbindung gebracht, das Vorliegen einzelner reliktscher Kerne wird mit einem (allzu) raschen Magmenaufstieg erklärt. Die Proben aus Weitendorf führen Olivine, welche aufgrund ihrer Zusammensetzung ( $\text{Fo}_{86.77}\text{Fa}_{13.23}$ ) als Mantelxenocrysten zu bezeichnen sind. Die Erhaltung dieser Minerale wird ebenfalls mit einem raschen Magmenaufstieg erklärt.

Sämtliche untersuchten Gesteine zeigen im Spiderdiagramm negative Nb-, Ta- und Ti-Anomalien und hohe LILE- Gehalte. Die LSEE sind gegenüber den SSEE angereichert. Die Geochemie der kalk-alkalischen Mitterlabill-Proben unterscheidet sich von jener der übrigen Proben durch niedrigere Gehalte an LILE und HFSE, dem Auftreten einer negativen P-Anomalie und einer vergleichsweise stärkeren Anreicherung des Ba gegenüber dem Rb. Die Zusammensetzung sämtlicher Magmen ist Folge von: fraktionierter Kristallisation, Kontamination, Magmennachschub und Magmenmischung, sowie Modifikation der Magmenquelle. Die Forderung nach einem AFC-Prozeß ist nur bei den Gesteinen der Bohrung Mitterlabill möglich. Im Fall der Gesteine der Gruppe Weitendorf (Gleichenberg, Gossendorf, Walkersdorf und Weitendorf) werden die hohen HFSE und LILE-Gehalte und die mineralchemischen Hinweise auf einen raschen Magmenaufstieg, welcher das Wirken eines AFC-Prozesses erschwert, mit dem Aufschmelzen eines vorab angereicherten Mantels erklärt. Die Aufschmelzungsrate beträgt im Stabilitätsfeld eines Spinell-Lherzoliten 5%, die Voranreicherung der Mantelquelle wird durch Mischung eines primitiven Mantels (SUN et al., 1989) mit kontinentalem Krustenmaterial (TAYLOR & MCLENNAN, 1985) simuliert, wobei der Mischungsanteil des Krustenmaterials 4% beträgt. Ein Nachstellen des Chemismus der Mitterlabill-Proben ist möglich, wenn auf ein IAB-Magma (Island-Arc-Basalt, Daten von SUN, 1980) ein AFC-Prozeß ( $F = 0.6$ ,  $r = 0.4$ ) angewandt wird, wobei als Kontaminant die obere kontinentale Kruste (TAYLOR & MCLENNAN, 1985) verwendet wird.

Der kalk-alkalische Charakter der Proben aus Mitterlabill wird aus geodynamischer Sicht als Folge der Subduktion der Basis der rhenodanubischen Flysche, bzw. der Flyschbasis der Westkarpathen infolge der N-S Konvergenz von Afrika und Europa (Ottang-Karpat) gewertet, der alkalische Charakter der Proben der Gruppe Weitendorf wird mit dem Dekompressionsschmelzen eines infolge einer Subduktion metasomatisch veränderten Mantels, im Zuge der Extension (Baden) erklärt.

## Literatur

- BALOGH, K., EBNER, F. & CSABA, R. (1994): K/Ar Alter tertiärer Vulkanite der südlichen Steiermark und des östlichen Burgenlandes. - Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, 2. Teil, Geol. B.-A. S.55-72.
- EBNER F. & SACHSENHOFER, R.F. (1991): Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. - Mitt. Abt. Geol. Paläontol. Landesmus. Joanneum, 49, S.1-96.
- SACHSENHOFER, R.F., LANKREIJER, A., CLOETINGH, S. & EBNER, F. (1997): Subsidence analysis and quantitative modelling in the Styrian Basin (Pannonian Basin System, Austria). - Tectonophysics, 272, S.175-196.
- SUN, S.-S. (1980): Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges and island-arcs. - Phil. Trans. R. Soc. Lond. A297, S.409-445.
- SUN, S.-S. & MCDONOUGH, W.F. (1989): Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications of mantle composition and processes. - In: A. D. SAUNDERS, M. J. NORRY (Editors), Magmatism in the Ocean Basins. - Geol. Soc. Spec. Publ., vol.42, S.313-345.
- TAYLOR, R.S. & MCLENNAN, S.C. (1985): The continental crust : its composition and evolution. - Blackwell Scientific Publications, 312 pages.

EXPERIMENTE ZUM EINFLUSS VON MISCHFLUIDEN (Na<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub> UND H<sub>2</sub>O)  
AUF DIE OBERE DRUCKSTABILITÄT VON MG- UND FE-CORDIERIT

von

**Manfred Scheickl**

Diplomarbeit zur Erlangung des Magistergrades an der  
Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Innsbruck

Institut für Mineralogie und Petrographie  
Innsbruck, Dezember 1999

Über den Mg/Fe-Austausch zwischen Cordierit und Granat nach der Reaktion  $\text{Fe-Crd} + \text{Pyp} \rightleftharpoons \text{Mg-Crd} + \text{Alm}$  können geothermobarometrische Daten u.a. für hochgradig metamorphe Pelite gewonnen werden. Dabei spielt das Abbauverhalten der beiden Endglieder zu hohen Drücken eine wesentliche Rolle. Die Anwesenheit verschiedener Fluidphasen dürfte dabei einen entscheidenden Faktor darstellen, da Cordierit aufgrund der charakteristischen Kanalstrukturen Moleküle wie CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> u.a., sowie Na<sup>+</sup>-Ionen eingebauen kann [1][2]. Der Einbau derartiger Ionen bzw. Moleküle wirkt sich entsprechend auf die thermodynamischen Eigenschaften der Endglieder und auch auf jene der Mg-Fe-Mischkristallreihe aus, sodaß sich bezüglich Abbauverhalten deutliche Abhängigkeiten in bezug auf die Fluidzusammensetzung ergeben müßten. Um die Anwendung von Cordieritparagenesen als Geobarometer oder eben als Geothermometer zu ermöglichen, müssen dahingehend (Fluidzusammensetzung) experimentelle Daten gewonnen werden.

In dieser Arbeit wurde unterschiedliche Fluidzusammensetzung bei Abbauersuchen mit Mg-Cordierit eingesetzt, wobei die Druckstabilität von Mg-Na-Crd im Rahmen von zwei Pilotstudien bereits untersucht wurde [3], um entsprechende Anhaltspunkte für eingehende Studien zu erlangen. Diese Daten wurden in die Überlegungen zur Klärung der Zusammenhänge bzw. zur Findung vernünftiger und zeitsparender Versuchsansätze miteinbezogen.

Für die Lage der Abbaureaktion von  $\text{Fe-Crd} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Alm} + \text{Sill} + \text{Qz} + \text{H}_2\text{O}$  im P-T-Feld werden von einigen Autoren unterschiedliche Daten angegeben [4][5][6][7]. Hier liegt die Vermutung nahe, daß die verschiedenen Autoren durch die Verwendung von kohlenstoffhaltigen Homogenisierungshilfen ungewolltes CO<sub>2</sub> in den Versuchsansatz geschleppt haben und damit ungewollt in Mischfluiden experimentierten.

In dieser Arbeit sollen die Ergebnisse aus weiterführenden Experimenten zur Stabilität von

- a) Mg-Crd, unter Beachtung von Na<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O als Fluidphasen, und
- b) Fe-Crd bei  $P_{\text{fluid}} = P_{\text{H}_2\text{O}}$  und bei Anwesenheit variabel zusammengesetzter Fluidphasen vorgestellt werden.

Als zusätzliche Absicherung der Information über die Beschaffenheit der Startmaterialien wurden neben den standardmäßig angewandten Analyseverfahren wie Mikrosondenuntersuchungen, röntgendiffraktometrischen Messungen und optischer Charakterisierung auch FT-IR-Untersuchungen sowie massenspektrometrische Messungen durchgeführt. Die Versuchsprodukte wurden zur Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Gehalte ebenfalls mittels FT-IR-Spektroskopie untersucht.

Die Experimente im Mg-System haben gezeigt, daß zunehmender CO<sub>2</sub>-Gehalt im Fluid eine Verschiebung der Reaktionskurve zu hohen Drücken bewirkt. Bei gleichzeitiger Zugabe von Na<sup>+</sup> (aus Albitglas und/oder Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) neigt sich die Stabilitätskurve zu niederen Drücken und nimmt eine nahezu temperaturunabhängige Lage ein.

Weiterführende Messungen mittels FT-IR-Spektroskopie zeigten, daß schon bei relativ niedrigen CO<sub>2</sub>-Gehalten im Fluid das Intensitätsverhältnis von H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> bezüglich Absorption zugunsten der CO<sub>2</sub>-Absorption steigt. Außerdem konnten bei der Anwendung von hochauflösenden Verfahren auch ohne Na-Anwesenheit verschiedene Typen von H<sub>2</sub>O-Schwingungen identifiziert werden.

Bei den Versuchen mit äußerst hochwertigem, aus dem Glas synthetisiertem Fe-Cordierit konnte gezeigt werden, daß Abbauversuche im nachgewiesenen reinen H<sub>2</sub>O-System zu Stabilitätsgrenzen führen, die weitestgehend mit jenen, die MUKHOPADHYAY & HOLDAWAY [7] angeben, zusammenpassen. Die Versuche mit H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> Mischfluiden im reinen Fe-System zeigten zum einen, daß bei Verhältnissen von  $X_{(\text{CO}_2)} = 0.23$  ein ähnliches Abbauverhalten auftritt, das HOLDAWAY & LEE [6] sowie WEISBROD [5] beschrieben haben, und zum anderen die Obergrenze für Versuche mit CO<sub>2</sub> und reinem Fe-Cordierit durch die  $f_{(\text{O}_2)}$ -Stabilität von Fe-Cordierit zu geringen CO<sub>2</sub>-Gehalten unter der Bildung von CO + H<sub>2</sub>O begrenzt ist.

#### Literatur

- [1] SCHREYER, W. (1985): Experimental studies on cation substitutions and fluid incorporations in cordierite. - Bulletin de Minéralogie, 108, 273-291.
- [2] MIRWALD, P.W. & KNOP, E. (1995): Der Einfluß der Kanalkomponenten H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> und Na<sup>+</sup> auf die obere Druckstabilität von Mg-Crd. Eine Experimentelle Pilotstudie und ihre Bedeutung für das Granat-Cordierit-Geobarometer. - Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, 20, 153-164.
- [3] MIRWALD, P.W. & LE BRETON, N. (1985): Influence of Si/Al order and variable vapour phase composition on the breakdown reactions of cordierite. - Terra cognita, 5, 332.
- [4] RICHARDSON, S.W. (1968): Staurolite stability in a part of the system Fe-Al-Si-O-H. - Journal of Metamorphic Petrology, 9, 467-488.
- [5] WEISBROD, A. (1973): Cordierite-garnet equilibrium in the system Fe-Mn-Al-Si-O-H. - Carnegie Institution Year Book, 72, 515-523
- [6] HOLDAWAY M.J. & LEE, S.M. (1977): Fe-Mg cordierite in high-grade pelitic rocks based on experimental, theoretical and natural observations. - Contributions to Mineralogy and Petrology, 63, 175-198.
- [7] MUKHOPADHYAY, B. & HOLDAWAY, M.J. (1994): Cordierite-garnet-sillimanite-quartz equilibrium: I. New experimental calibration in the system FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and certain P-T-X<sub>H<sub>2</sub>O</sub> relations. - Contributions to Mineralogy and Petrology, 116, 462-475.

**EXAMINATIONS OF THE AVAILABILITY OF SUBSOIL WATER IN CENTRAL  
BURGENLAND (DISTRICT OF OBERPULLENDORF) UNDER SPECIAL CONSIDERATION  
OF RENEWAL, DYNAMICS AND QUALITY OF WATERS AND INCLUDING THE  
SURVEILLANCE OF EXISTING PROTECTED AND PRESERVED AREAS  
"EXPLOITABLE SUBSOIL AQUIFEROUS SEDIMENTS IN CENTRAL BURGENLAND"**

by

**Valentin Schroffenegger**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Petrologie  
Wien, August 1999

The present study entitled "Exploitable Subsoil Aquiferous Sediments in Central Burgenland" provides a compiled survey of the "water situation" in Central Burgenland, placing strong emphasis on the availability of subsoil water, under special consideration of renewal, dynamics and quality of waters and including the surveillance of existing protected and preserved areas.

The general geotectonic basin structure of the project area, confined by ridges of crystalline hills towards the north, the west and the south, shows an eastward incline and thus a principal direction of the underground water current. Therefore the tertiary stratifications enclosing the basin may be described as main groundwater renewal areas (recharging area). The generally fine-grained consistency of the Pannonian sediments near the surface in the inside of the basin does not allow for large-scale groundwater renewal.

On the basis of the locally divergent tectonic and sedimentological conditions in the basin, one may take for granted a generally limited groundwater communication. However, the possibility of a limited influx of formation-relevant waters from lowlying strata of the Minor Hungarian Lowlands cannot be dismissed.

In the crystalline areas surrounding the basin the subsoil water flow is characterized, on account of segmentation and a not too significant weathering layer of crystalline, by springs with a strongly fluctuating and rather poor water output (< 1 l/s) which is clearly influenced by precipitation. In particular with respect to the mineral and therapeutic water deposits (Deutschkreutz, Kobersdorf, Piringsdorf, Lutzmannsburg) the tectonic development of the Oberpullendorf Basin plays an important role. The general direction of the current of the main drainage channels shows the impact of a north-westerly - south-easterly interference system which, like a younger north-easterly - south-westerly interference system, is responsible for the rising of mineralized waters from low-lying strata.

Isotope geophysical examinations of these waters showed partly meteoric subsoil waters influenced by the ice age.

The other groundwaters from Pannonic and secondary Sarmatic aquifers, which were used for the drinking water supply and examined, showed very distinct ages, generally from post-glacial times.

The subsoil aquiferous gravel and sand horizons show, like quarternary valley sediments, a medium permeability of between  $1 \cdot 10^{-4}$  and  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s at output rates of up to 25 l/s (well 4, Neckenmarkt).

Hydrogeochemical examinations of subsoil and surface waters revealed geogenous as well as anthropogenous influences. While waters which are exclusively characterized by minerals resulting from geogenous processes usually indicate lowerlying groundwater systems with longer residual times, hydrochemical parameters caused by anthropogenous events rather indicate circulation systems immediately influenced by meteoric activity. Thus the hydrogeochemical characteristics of the individual groundwaters could be taken, in a limited way, as differentiation criteria for the delimitation of different aquifers.

By carrying out numerous geoelectrical depth soundings, potential areas of exploitable subsoil aquiferous sediments on the surface and down to a limited depth could be delimited, which resulted in borings for the exploitation of drinking water in Oberpullendorf and St. Martin/Landsee.

On the one hand, reflexion seismic tests confirmed the general complexity of the sedimentologic-tectonic development of basins and their limited regional significance, on the other hand they signified the presence of potential lower-lying groundwater bodies which are mostly dependent on local sedimentary layers of previous river systems (delta sediments at the edge of the basin, sediments filling watercourses) and frequently overlaid by fine-grained layer horizons. The results obtained from the reflexion seismic tests led to the establishment of locations for potential borings for drinking water exploitation (Deutsch Gerisdorf, Steinberg, Kroatisch Gerisdorf) and to the elaboration of a proposal for the limitation of the existing groundwater preservation area 'Central Burgenland'.

On account of the geotectonic complexity and the different groundwaterdynamic structural conditions caused by it, hydrodynamic pilot projections for drawing up a groundwater balance could be developed only in an approximate way. The average groundwater renewal rate for the entire project area, which was determined in the course of tests, is, including the eastern parts of the test area which are characterized by a negative water balance, approximately 120 to 130 mm/a. As opposed to this, the present average total annual consumption is about 2,660,000 m<sup>3</sup>, corresponding to about 84 l/s or an average daily consumption per person of about 183 l. Therefore for the project area which, compared to the Austrian average, is characterized by a considerably lower amount of precipitation, resp., groundwater renewal, particularly careful water conservation planning in dealing with the limited water resources is necessary.

The great number of data obtained in the course of the project require the employment of a Geographic Information System (ArcView). Therefore the group responsible for the project was entrusted with the entire project in digital form, in order to ensure an uninterrupted continuation of data collection and thus to maintain up-to-date water conservation data for the sustained and guaranteed drinking water supply for Central Burgenland.

**GEOLOGY, METAMORPHISM AND GOLD MINERALIZATION OF THE  
KENTICHA-KATAWICHA AREA, ADOLA BELT, SOUTHERN ETHIOPIA**

by

**Lulu Tsige**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der  
Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

Institut für Petrologie  
Wien, November 1999

The Kenticha-Katawicha area, which is situated in the Adola Belt of southern Ethiopia, is underlain by Precambrian rocks. The area comprises gneisses (including migmatitic-, granitic-, and quartzofeldspathic-gneisses), amphibolites, biotite schists/gneisses, ultramafic rocks (serpentinites and talc-tremolite/chlorite schists), metasediments (pelitic schists, graphite schists, marble, Fe-Mn-quartzite) and post-orogenic granite. With the exception of the granite all rock units have been variably deformed and metamorphosed.

The mineral assemblages and textural data obtained from the metamorphic rocks of the area indicate that the dominant metamorphic condition was of upper amphibolite facies. Garnet-biotite (garnet-core - matrix-biotite) and amphibole-plagioclase geothermometry gave estimates for peak metamorphic temperatures of 630–650°C. A clockwise P-T path is deduced from mineral thermometry and the textural and paragenetic relations. The estimated peak values suggest a burial to approximately 25 km depth.

The preliminary geochemical features of amphibolites, with immobile trace and rare earth elements chemistry, show mainly island arc tholeiite characteristics and most of the data from granitic rocks plot in the field of volcanic-arc granitoids.

The rock associations of the study area, i.e., high-grade gneisses, schists, amphibolites, ultramafics associated with podiform chromites, and the deep marine sediments, indicate a possible ophiolitic succession. This combined with the preliminary geochemistry of the magmatic rocks and clockwise P-T path is consistent with a collision setting for the emplacement of the rocks of the study area.

In the Kenticha-Katawicha area gold occurs in quartz veins and veinlets in lenses of biotite schists within ultramafics that are confined in shear zones. Fluid inclusion studies of gold quartz veins and veinlets indicate a H<sub>2</sub>O- and CO<sub>2</sub>-rich fluid with low salinity (< 5 wt.% NaCl-Equivalent). The gold mineralization in the area seems to date after the main regional metamorphism and is associated with low-grade wall-rock alteration.

## VEREINSMITTEILUNGEN

### TÄTIGKEITSBERICHT ÜBER DAS VEREINSJAHR 1999

#### 1. Im Vereinsjahr 1999 fanden folgende Vorträge und Veranstaltungen statt:

##### Veranstaltungsort: Wien

- 18.1.1999 Jahreshauptversammlung und anschließender Vortrag (gemeinsam mit der Österreichischen Gemmologischen Gesellschaft)
- G. Niedermayr (Naturhistorisches Museum Wien)  
"Türkis – Natur, Imitate und Untersuchungen; ein gemmologisches Sittenbild"
- 15.3.1999 Sammlerabend mit Vortrag (Gemeinsam mit der Sektion Austria des Alpenvereins, der Österreichischen Geologischen Gesellschaft und der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft)
- Th. Hofmann (Geologische Bundesanstalt, Wien)  
"Geologie auf Briefmarken"
- 23.3.1999 Sammlerabend mit Vortrag.
- St. Graeser (Universität Basel)  
"Die Arsenanomalie im Binntal, Kanton Wallis, Schweiz"
- 19.4.1999 P. Tropper (University of Michigan - Universität Graz)  
"Neues über Natrium-Amphibole aus Experimenten"
- 3.5.1999 W. Heinrich (GeoForschungsZentrum, Potsdam)  
"Druck- und temperaturabhängige SEE-Verteilung zwischen Monazit und Xenotim: ein Bindeglied für Thermobarometrie und Geochronologie in metamorphen Gesteine."
- 10.5.1999 Sammlerabend mit Vortrag (Gemeinsam mit der Österreichischen Gemmologischen Gesellschaft und dem Verein der Freunde des Naturhistorischen Museums)
- G. Holzhey (Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar)  
"Vielfalt der Achate in den Vulkaniten des Thüringer Waldes und Sachsens"
- 17.5.1999 Sammlerabend mit Vortrag

- Ch. Auer (Neunkirchen, NÖ)  
 “Der Silberbergbau zu Annaberg, NÖ”
- 31.5.1999 V. Lüders (GeoForschungsZentrum, Potsdam)  
 “Einsatzmöglichkeiten der IR-Mikroskopie für die Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen in opaken Mineralen”
- 14.6.1999 Vortrag mit Filmvorführung (Gemeinsam mit der Österreichischen Geologischen Gesellschaft  
 P. Halbach (Freie Universität Berlin  
 “‘Schwarze und weiße Raucher’ - Zwischenstadien der Lagerstättenbildung von Massivsulfiderzen”
- 21.6.1999 Sammlerabend mit Vortrag.  
 G. Knobloch (Aggsbachdorf, NÖ)  
 “Mineralfundstellen in der Wachau”
- 18.10.1999 W. Prochaska, W. (Montan-Universität Leoben)  
 “Der Fluidchemismus ostalpiner Siderit- und Magnesit-Mineralisation”
- 22.11.1999 G. Franz (Technische Universität Berlin)  
 “Das Basement der zentralen Anden (21-26 Grad S): Die Entwicklung eines aktiven Kontinentalrandes”
- 23.11.1999 Fachvortrag gemeinsam mit der Payer-Weyprecht-Gesellschaft  
 A. Preisinger (Technische Universität Wien)  
 “Sprunghafte postglaziale Meeresspiegelanstiege und ihre Folgen” (Klimageschichte der Nacheiszeit)”
- 29.11.1999 Sammlerabend mit Vortrag.  
 M. Grob (Wien)  
 “Strontianitvorkommen im Münsterland, BRD”
- 10.1.2000 L. Hecht (Technische Universität München)  
 “Gesteinseinschlüsse als petrogenetische Indikatoren in herzynischen Graniten (Fichtelgebirge, Böhmisches Masse)”
- 24.1.2000 Jahreshauptversammlung der ÖMG. Anschließend:  
 T. Stachel (Universität Frankfurt)  
 “Entstehung von Diamanten und ihre Einschlüsse”

**Veranstaltungsort: Graz**

- 23.3.1999 I. Scrimgeour (Montan-Universität Leoben)  
“Thermal structure of the crust during intraplate orogenesis, Central Australia: Implications for localisation of strain in continental interiors”
- 27.4.1999 W. Kutschera (Universität Wien)  
“Accelerator Mass-Spektrometrie von kos-mogenen Radionukliden: Anwendungen in den Erdwissenschaften”
- 4.5.1999 W. Heinrich (GeoForschungsZentrum, Potsdam)  
“Fluidfluß in Kontaktaureole.”
- 11.5.1999 G. Holzhey (Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar)  
“Vielfalt der Achate in den Vulkaniten des Thüringer Waldes und Sachsens”
- 18.5.1999 Sammlerabend mit Vortrag. Ort: Stucksaal des Referates für Mineralogie, Landesmuseum Joanneum, Graz  
  
Ch. Auer (Neunkirchen, NÖ)  
“Der Silberbergbau zu Annaberg, NÖ”
- 1.6.1999 T. Vennemann (Institut für Geochemie, Universität Tübingen)  
“Fluid-Gesteins-wechselwirkungen in metamorphen Konglomeraten: Perspektive der O-Isotopie von Quarzsand und Quarzkieseln”
- 16.11.1999 O.A.T. Thalhammer (Montan-Universität Leoben)  
“Die Bildung der Sulfid-PGE Offset Vererzung in archaischen Granitgneisen im Zuge von mafischer Intrusion, Metamorphose und Metasomatose, Portimo Komplex, Finnland”
- 23.11.1999 R. Cooke (Universität Salzburg)  
“The petrology and thermobarometry of high-pressure granulites from the Moldanubian Zone”
- 30.11.1999 Ch. Miller (Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck)  
“Magmatismus in Südwest Tibet”

Die Vorträge wurden gemeinsam mit dem Naturwissenschaftlichen Verein für Steiermark und dem Joanneum-Verein veranstaltet.

### **Veranstaltungsort: Leoben**

- 1.6.1999 V. Lüders (GeoForschungsZentrum, Potsdam)  
“Einsatzmöglichkeiten der IR-Mikroskopie für die Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen in opaken Mineralen”
- 15.6.1999 P. Halbach (Freie Universität Berlin)  
“‘Schwarze und weiße Raucher’ - Zwischenstadien der Lagerstättenbildung von Massivsulfiderzen”
- 23.11.1999 G. Franz (Technische Universität Berlin)  
“Das Basement der zentralen Anden (21-26 Grad S): Die Entwicklung eines aktiven Kontinentalrandes”
- 11.1.2000 L. Hecht (Technische Universität München)  
“Mobilisierung von Uran in Liefergesteinen von Diskordanz-gebundenen Uranlagerstätten (Athabasca Becken, Saskatchewan, Kanada)”
- 25.1.2000 T. Stachel (Universität Frankfurt)  
“Entstehung von Diamanten und ihre Einschlüsse”

### **Veranstaltungsort: Salzburg**

- 24.3.1999 St. Graeser (Universität Basel)  
“Die Arsenanomalie im Binntal, Kanton Wallis, Schweiz”
- 2.6.1999 V. Lüders (GeoForschungsZentrum, Potsdam)  
“Einsatzmöglichkeiten der IR-Mikroskopie für die Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen in opaken Mineralen”

### **Veranstaltungsort: Innsbruck**

- 14.1.1999 J. Kley (Geologisches Institut - Regionale Geologie/Universität Karlsruhe)  
“Bilanzierte Profile“
- 21.1.1999 R. Ferreira-Mählmann (Mineralogisch-Petrogr. Institut/Universität Basel)  
“Vergleichende Arbeiten zur Deformations- und Diagenese-Metamorphose-Geschichte der Nördlichen Kalkalpen und der Silvrettedecke”
- 28.1.1999 R. Abart (Institut für Mineralogie-Kristallographie & Petrographie/Univ. Graz)  
“Die stabilen Isotope von H, C und O: Universelle Geothermometer von 0° bis 1000°C und effiziente Tracer für Fluid-Gesteinsinteraktionen”

- 4.3.1999 J. Schweigl (Amt für Geologie und Baustoffprüfung/Südtiroler Landesreg.)  
“Baugeologische Probleme in Südtirol an Hand ausgewählter Beispiele”
- 11.3.1999 T. Servais (Lab. de Paléontologie/Université des Sciences de Techniques Lille)  
“Das biostratigraphische, paläobiogeographische und paläökologische Potential einer noch recht unbekanntenen Mikrofossilgruppe: Acritarcha”
- 18.3.1999 F. Maurer (Institut für Geologie/Univ. Wien)  
“Wachstumsanalyse einer mitteltriadischen Karbonatplattform in den westlichen Dolomiten (Südalpen)”
- 25.3.1999 P. Tropper (University of Michigan-Universität Graz)  
“Neues über Natrium-Amphibole aus Experimenten”
- 15.3.1999 W. Rott (Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck)  
“Überwachung von Massenbewegungen an der Erdoberfläche mit Radarinterferometrie (Hangrutschungen, Vulkanismus, seismische Deformation)”
- 22.4.1999 V. Mair (Amt für Geologie und Baustoffprüfung/Südtiroler Landesregierung)  
“Kartierung 2000: Projekte CARG-PAB (Carta Geologica – Provincia Autonoma di Bolzano): Vorgaben, Ziele und erste Ergebnisse”
- 4.11.1999 R. Schuster (Institut für Geologie, Universität Wien)  
“Permo-triassische Krustenextension im Zuge der Öffnung der Neotethys: Petrologische und geochronologische Daten aus dem Ostalpin”
- 11.11.1999 G. Bertotti. (Department of Tectonics, Vrije Universiteit Amsterdam)  
“The Mesozoic Formation of the Adriatic passive continental margin in the Southern Alps”
- 18.11.1999 K. Oeggl (Institut für Botanik, Universität Innsbruck)  
“Die Riss/Würm- und würmzeitliche Flora der Ablagerungen von Mondsee/Oberösterreich”
- 25.11.1999 B.T. Erdtmann. (Inst. f. Ang. Geowissenschaften, Technische Universität Berlin)  
“Klimatische und trophische Bedingungen der ‘Cambrian Explosion’”
- 2.12.1999 C. Korte (Institut für Geologie, Ruhr-Universität Bochum)  
“ $\delta^{18}\text{O}$  -  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Analysen als Indikatoren für Paläoklima, Paläotektonik und Entwicklung der Lebewelt”
- 9.12.1999 D. Gregurek (Institut für Geowissenschaften, Universität Leoben)  
“Mineralogie und Umwelt: Das internationale Kola-Projekt”

- 16.12.1999 G. Niedermayr (Naturhistorisches Museum, Wien)  
 “Türkis und seine Imitate und Unterschiebungen.  
 Vorkommen und Erkennungsmerkmale”
- 13.1.2000 H.-J. Gawlick (Institut für Geowissenschaften, Montan-Universität Leoben)  
 “Zur thermischen Geschichte der Nördlichen Kalkalpen, speziell des  
 Juvavikums – geodynamische Überlegungen im Zusammenhang mit  
 der Sedimentationsgeschichte”
- 27.1.2000 P. Moeller (GeoForschungsZentrum Potsdam)  
 “Elektrochemische Goldabscheidung auf Sulfiden: experimentelle  
 Ergebnisse und Studien an Sulfid-Gold-Paragenesen”

Alle Veranstaltungen wurden im Rahmen des jeweiligen Geokolloquiums gemeinsam mit der Österreichischen Geologischen Gesellschaft (ÖGG) und der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft (ÖMG) abgehalten.

#### **Veranstaltungsort: Wien (MinWien 1999)**

Die gemeinsame Tagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, der Ungarischen Geologischen Gesellschaft, und der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft ist mit großem Erfolg im Geozentrum der Universität Wien (28.08. – 01.09.1999) durchgeführt worden. Die Anzahl der Teilnehmer betrug 520. Es wurden ca. 490 wissenschaftliche Beiträge in englischer oder deutscher Sprache im Laufe von 4 parallelen Sitzungen pro Tag, 6 Symposien, 1 Workshop und 4 Poster-Sitzungen präsentiert. Anschließend wurden 2 Exkursionen durchgeführt. Die Tagung wurde feierlich im großen Festsaal der Universität eröffnet. Es folgte eine Begrüßungsparty. Parallel zum wissenschaftlichen Programm wurden abends auch soziale und kulturelle Veranstaltungen durchgeführt.

**2. Im Vereinsjahr 1999 wurde keine ÖMG-Exkursionen durchgeführt.**

**3. Die Abwicklung der geschäftlichen Angelegenheiten erfolgte in zwei Vorstandssitzungen (26.6.1999 und 24.1.2000).**

**4. Der Band 144 der „Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft“ wurde fertiggestellt und im September 1999 den Mitgliedern zugesandt.**

## 5. Mitgliederbewegung

Mitgliederstand vom 31.12.1999:	316
Ehrenmitglieder:	8
Prof.Dr. H. Heritsch/Graz	
Prof.Dr. H. Höller/Graz	
Prof.Dr. E. Jäger/Schweiz	
Prof.Dr. E. Niggli/Bern	
Prof.Dr. A. Preisinger/Wien	
Prof.Dr. H. Schuhmann/Braunschweig	
Prof.Dr. Dr.h.c. H. Strunz/BRD	
Prof.Dr. J. Zemann/Wien	
Träger der Friedrich Becke-Medaille:	9
Prof. Dr. P. Cerný/Winnipeg Canada	
Prof. Dr. W. v. Engelhardt/Tübingen	
Prof. Dr. C. Frondel/Belmont USA	
Prof.Dr. D. P. Grigoriew/Leningrad	
Prof. Dr. Dr.h.c. H. Jagodzinski/München	
Prof. Dr. W. Schreyer/Bochum	
Prof. Dr. V. Trommsdorff/Zürich	
Prof. Dr. H. Waenke/Mainz	
Prof. Dr. H. Wondraschek/Karlsruhe	
Felix Machatschki Preis:	2
Mag. Dr. R. Abart, Graz	
Mag.Dr. R. Miletich, Zürich	
Mitglieder auf Lebenszeit:	2
W. Hollender/Wien	
Dr. F. Marsch/Wien	
Neue Mitglieder:	10
Dr. Michael Andrut, Universität Wien	
Stefan Doncsecs, Wien	
Mag. Alexandra Driedrich, Zürich	
Mag. Birgit Hertweck, Wien	
Helmut Kuhn, Baden	
Günter Pohselt, Wien	
Helmut Prasnik, St. Magdalen	
Mag. Jürgen Puhl, Leoben	
Mag. Peter Ramminger, Innsbruck	
Mag. Elena Sonn, Wien	

Schriftentausch:

Bundesanstalt für Geowissenschaften & Rohstoffe, Bibliothek, Hannover  
Sächsisches Landesamt für Umwelt & Geologie, Bibliothek, Freiberg

Verstorbene Mitglieder:	2
Zahlungsunwillige und deshalb ausgeschlossene Mitglieder:	1
Unbekannt verzogene Mitglieder:	4
Ausgetretene Mitglieder:	6

Der Dank für Spenden ergeht an folgende Mitglieder:

Prof. Dr. A. Beran (Wien), Dr. K. Ettinger (Graz), Dr. M. Götzinger (Wien), Prof. Dr. E. Jäger (Meikirch, Schweiz), Doz. Dr. D. Matejka (Praha), Dkfm. Karl-Heinz Müller (Wien), Prof. Dr. F.W. Müller (Darmstadt), Prof. Dr. H. Palme (Mainz), Prof. Dr. K. Petrakakis (Wien), Dr. R. Tessadri (Innsbruck), Prof. Dr. E. Tillmanns (Wien), Prof. Dr. V. Trommsdorff (Zürich), E. Wassizek (Tulln), Prof. Dr. J. Zemann (Wien).

Wien, 24.1.2000

K. Petrakakis  
(Schriftführung)

Autorenhinweise für die

MITTEILUNGEN DER ÖSTERREICHISCHEN  
MINERALOGISCHEN GESELLSCHAFT

Manuskripte müssen in zweifacher Ausfertigung als Laserausdruck/DINA4-Format bei der Redaktion eingereicht werden. Abbildungen (S/W-Strichzeichnungen, Tabellen, Fotos) sind gesondert beizufügen (bitte zur Beachtung: Verkleinerung auf bis 50 % berücksichtigen, keine Farben, sondern Signaturen bei Diagrammen verwenden, nur sehr kontrastreiche Fotos verwenden, allgemein: Scanner-Bearbeitung anhand einer hochqualitativen Unterlage muß gewährleistet sein !).

Manuskripte sollten möglichst nicht länger als zwanzig/dreißig Seiten inklusive Abbildungen umfassen. Abstracts zu Tagungen und Diplomarbeiten/Dissertationen sollten nicht mehr als ein/zwei Seiten umfassen.

Zitierungen von Autoren im Text (Beispiel):

„.....(ALEKSANDROV et al., 1985).....“

Zitierungen von Autoren bei der Literaturzusammenstellung (Beispiel):

ALEKSANDROV, I.V., KRASOV, A.M. & KOCHNOVA, L.N. (1985): The effects of potassium, sodium and fluorine on rock-forming mineral assemblages and the formation of tantaloniobate mineralization in rare-metal granite pegmatites. - *Geochem. Int.*, 22, 85-94.

Besonders willkommen ist zusätzlich die Übersendung des Manuskriptes auf Diskette oder via E-mail (als attachments in binhex/binary-mode an die Redaktion,). Texte und Abbildungen müssen dabei getrennt gespeichert sein (Texte ausschließlich als WORD.DOC oder im RTF-Format, einfache Formatierung linksbündig/Flattersatz genügt, bevorzugter Font: Times 12 Punkt, Abbildungen ausschließlich als EPS-, PICT- oder TIFF-Dateien!)

Die Zeitschrift erscheint einmal jährlich mit Ausgabe September/Oktober.

Abgabetermin für alle eingereichten Arbeiten ist Ende Mai des jeweiligen Jahres.

Bei eingereichten Arbeiten in den Kategorien Originalarbeiten-Vorträge-Exkursionen werden generell 50 Sonderdrucke kostenlos hergestellt. Andere oder zusätzliche Sonderdrucke von Arbeiten sind explizit zu bestellen und werden in Rechnung gestellt.

Zusendung von Manuskripten an: Friedrich Koller, Institut für Petrologie, Universität Wien, Geozentrum, Althanstreae 14, A-1080 Wien  
E-Mail Adresse für angenommene Manuskripte: Richard.Tessadri@uibk.ac.at