

**DOKUMENTATION DER MORPHOLOGISCHEN ENTWICKLUNG  
VON ZIRKONEN ANHAND VON SCHNITTEN PARALLEL UND SENKRECHT ZUR  
KRISTALLOGRAPHISCHEN HAUPTACHSE**

von

**Michael Sturm**

Institut für Mineralogie, Universität Salzburg  
Hellbrunnerstrasse 34, A-5020 Salzburg

**Zusammenfassung**

Es wird eine Präparationsmethode an Zirkonen vorgestellt, welche die Kombination aus Längs- und Querschnitt einzelner Kristalle darstellt und damit ein gleichzeitiges Studium der Pyramiden- und Prismenentwicklung erlaubt. Mit Hilfe dieser Methode wurden repräsentative Zirkonkristalle aus einem peraluminischen und einem kalkalkalischen Granitoid des südwestlichen Böhmisches Batholiths untersucht. Im Falle des peraluminischen Gesteins kann eine morphologische Entwicklung der Kristalle von den Subtypen J3 und J4 zu den Subtypen S1 bzw. S2 verfolgt werden. Die äußere Morphologie wird von den Flächen  $\{110\}$  und  $\{211\}$  dominiert. Bezüglich des kalkalkalischen Granitoids läßt sich eine Entwicklung der Zirkonmorphologie vom G-Typ zu den Subtypen J4 und J5 mit den vorherrschenden Flächen  $\{100\}$  und  $\{101\}$  feststellen. Dieser Trend ist für Zirkone aus granitischen Gesteinen bislang nicht beschrieben worden und läuft auf die Ausbildung der laut Periodic Bond-Chain-Modell theoretischen Wachstumsform der Kristalle hinaus.

**Abstract**

A preparation method of zircon is introduced that consists of two steps: longitudinal sectioning of the crystals and subsequent sectioning perpendicular to their c-axes. This technique allows the investigation of both the pyramidal and the prism development within any zircon. The method was first applied to a peraluminous as well as a calcalkaline granitoid of the southwestern Bohemian batholith. Concerning the peraluminous rock, a morphological development of the zircon crystals from the subtypes J3 and J4 to the subtypes S1 and S2 can be recognized. Hence, the outer morphology is mainly dominated by large  $\{110\}$  and  $\{211\}$  faces. Concerning the calcalkaline granitoid, the typological development runs from G-type to the subtypes J4 and J5, which are characterized by the predominance of the faces  $\{100\}$  and  $\{101\}$ . This trend has not been described for zircons from granitic rocks until now. According to the Periodic-Bond-Chain-Theory it ends with the theoretical growth form of the crystals.

## **Einleitung**

Das akzessorische Mineral Zirkon stellt einen in vielerlei Hinsicht bedeutenden Bestandteil magmatischer Gesteine dar. Es besitzt einerseits einen hohen Wert für die radiometrische Altersbestimmung aufgrund seines Gehaltes an radioaktiven Isotopen (Uran, Thorium) und zählt andererseits zu jenen Mineralen, deren Morphologie in hohem Maße vom Chemismus der Schmelze bestimmt wird, aus welcher sie kristallisieren (CARUBA, 1978; SUNAGAWA, 1984). Diese Bedeutung von Zirkon als petrogenetischer Indikator ist bereits seit den 50er Jahren bekannt (POLDERVAART, 1956) und fand in den 60er Jahren eine breite Anwendung (z.B. HOPPE, 1963; FRASL, 1963; VENIALE et al., 1968). PUPIN & TURCO (1972) gelang erstmals eine Einteilung der Kristallformen von Zirkon nach den Größenverhältnissen der fünf Hauptflächen {100}, {110}, {101}, {211} und {311} sowie deren Darstellung im sogenannten Typologiedigramm. PUPIN (1980) nahm in weiterer Folge die Gliederung magmatischer Gesteine aus verschiedenen geologischen Milieus aufgrund ihrer spezifischen Zirkonpopulationen sowie Untersuchungen der Zirkonevolution mit Hilfe statistischer Auswertungen der verschiedenen Kristallformen in einer Population vor. Diese grundlegenden Arbeiten basierten auf ausgedehnten lichtmikroskopischen Studien der externen Kristallmorphologie. Ein Einblick in die interne morphologische Entwicklung von Zirkonkristallen gelang erst nach der Entwicklung diverser Präparations- und Bildverarbeitungstechniken ab Ende der 80er Jahre (z.B. PATERSON et al., 1989; VAVRA, 1990, 1994; BENISEK & FINGER, 1993). Mit derartigen Präparationen eröffnete sich die Möglichkeit, das Wachstum der Pyramidenflächen (Längsschnitt) oder Prismen (Querschnitt) innerhalb eines einzelnen Zirkonkristalls zu verfolgen. Weiters konnten durch gezielte Mikrosonden-Studien sowie durch genaue Kenntnis des Magmenchemismus Hypothesen über jene Faktoren aufgestellt werden, welche die Pyramiden- und Prismenentwicklung steuern. Während die Kontrolle des Prismenwachstums im wesentlichen durch die Spurenelemente Uran, Thorium und Yttrium erfolgt, welche bei Einbau in den {110}-Sektor eine Wachstumsblockade bewirken (BENISEK & FINGER, 1993), wird für die Steuerung der Pyramidenentwicklung der Gehalt an Alkalimetallen (Natrium, Kalium) im Magma diskutiert, welche bevorzugt an die {101}-Fläche adsorbiert werden und diese dadurch je nach Konzentration mehr oder weniger stark an ihrem Wachstum hindern (VAVRA, 1994). Die bisherigen Studien hatten allesamt den Nachteil, daß entweder nur das Pyramiden- oder nur das Prismenwachstum verfolgt werden konnte. In der vorliegenden Arbeit wird eine Präparationsmethode vorgestellt mit deren Hilfe es möglich wird die Entwicklung, sowohl der Pyramiden- als auch der Prismenflächen, an einem einzelnen Zirkonkristall zu studieren.

## **Material und Methoden**

Die Gewinnung der Zirkone erfolgte aus einem kalkalkalischen und peraluminischen Granitoid des südlichen Böhmisches Batholiths. Über die genaue Herkunft der Gesteinsproben, die jeweilige Granittypologie sowie den in den Gesteinen vorherrschenden Zirkonhabitus gibt Tabelle 1 Auskunft. Detailliertere Angaben über die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Gesteine sind beispielsweise den Publikationen von FUCHS & MATURA (1976) sowie von FRASL & FINGER (1991) zu entnehmen.

Nr.	Gestein Geol. Einheit	Petrographie Granit-Typologie	Zirkon-Typologie
1	Perlgneis	Migmatit (Kfs: 10%, Plag: 40% Qz: 20%, Bio/Ms: 20% Cord: 10 %)	 <b>S<sub>1</sub></b> (S <sub>2</sub> , S <sub>6</sub> , S <sub>7</sub> )
	Südwestlicher Böhmischer Batholith		
2	Schlierengranit	Migmatit (Kfs: 30%, Plag: 38% Qz: 23%, Bio: 9%)	 <b>S<sub>19</sub></b> (S <sub>20</sub> , S <sub>24</sub> , S <sub>25</sub> )
	Südwestlicher Böhmischer Batholith		

Tab. 1

Beschreibung von Petrographie, Granittypologie und vorherrschendem Zirkonhabitus der im Rahmen dieser Studie untersuchten Gesteine.

Aus den separierten Zirkonfraktionen aller Gesteinsproben wurden nach umfangreichem lichtmikroskopischen Studium jeweils 20 repräsentative Kristalle mit einer feinen Präpariernadel entnommen und auf einen Objektträger (24 x 50 mm) übertragen. Die Zirkone wurden sodann mit ihrer kristallographischen Hauptachse senkrecht zu einer in das Glas geritzten Linie orientiert (Abb. 1 A) und mit einem Tropfen Epoxidharz (Köropax 439) fixiert. Nach der exakten Ausrichtung der Kristalle wurde der Objektträger vollständig mit einer Harzschicht versehen und zu deren Erhärtung ca. 2 Stunden lang auf eine 60°C warme Heizplatte gelegt (Abb. 1 B). Sobald das Harz die für die weitere Bearbeitung erforderliche Härte erreicht hatte und etwa auf Raumtemperatur abgekühlt war, wurde es vorsichtig abgeschliffen. Dabei wurde mit der Annäherung an die Kristalle die Korngröße des Schleifpulvers (Siliziumcarbid) kontinuierlich reduziert, um ein frühzeitiges Herausbrechen einzelner Zirkone zu vermeiden. Nach dem Erreichen der ersten Kristallflächen wurden die Präparate sorgfältig von den Körnern des Schleifpulvers gesäubert und in weiterer Folge mit Diamantpasten (Korndurchmesser: 3 bzw. 1  $\mu\text{m}$ ) poliert. Der Poliervorgang wurde solange fortgesetzt bis die medianen Schnittebenen der Kristalle erreicht waren (Abb. 1 C). Die erzeugten Schnittpräparate wurden mit Kohle bedampft und unter Verwendung einer Mikrosonde des Typs JEOL JXA-8600 am Institut für Mineralogie der Universität Salzburg untersucht. Für die Erzeugung von BSE-Bildern der einzelnen Längsschnitte wurden am Gerät folgende Einstellungen vorgenommen: Die Beschleunigungsspannung wurde auf 15 kV eingestellt, der Strahlstrom auf 40 nA und der Durchmesser des Strahles auf ca. 1  $\mu\text{m}$ .

Um möglichst kontrastreiche Bilder zu erhalten, wurden für jeden Zirkon die Einstellungen von Verstärker und Photomultiplier optimiert. Nach Beendigung der Mikrosonden-Untersuchungen wurden die Kristallschnitte wiederum mit einer Harzschicht versehen und die Objektträger daraufhin von einer Seite her bis zur Mitte abgeschliffen (Abb. 1 D). Jedes auf diese Weise halbierte Präparat wurde – wie in Abb. 1 E dargestellt – senkrecht auf einen weiteren Objektträger geklebt und schließlich von der anderen Seite her parallel zur Richtung der Kristallhauptachsen abgetragen. Die Polituren der erhaltenen Zirkonquerschnitte erfolgten auch hier mit Diamantpasten verschiedener Körnung. Die Querschnitte wurden auf eine Dicke von etwa  $30\ \mu\text{m}$  gebracht (Abb. 1 F) und mit der Mikrosonde unter Verwendung derselben Einstellungen wie bei der Untersuchung der Längsschnitte dokumentiert. Abschließend wurden die Aufnahmen zusammengehöriger Längs- und Querschnitte kombiniert.

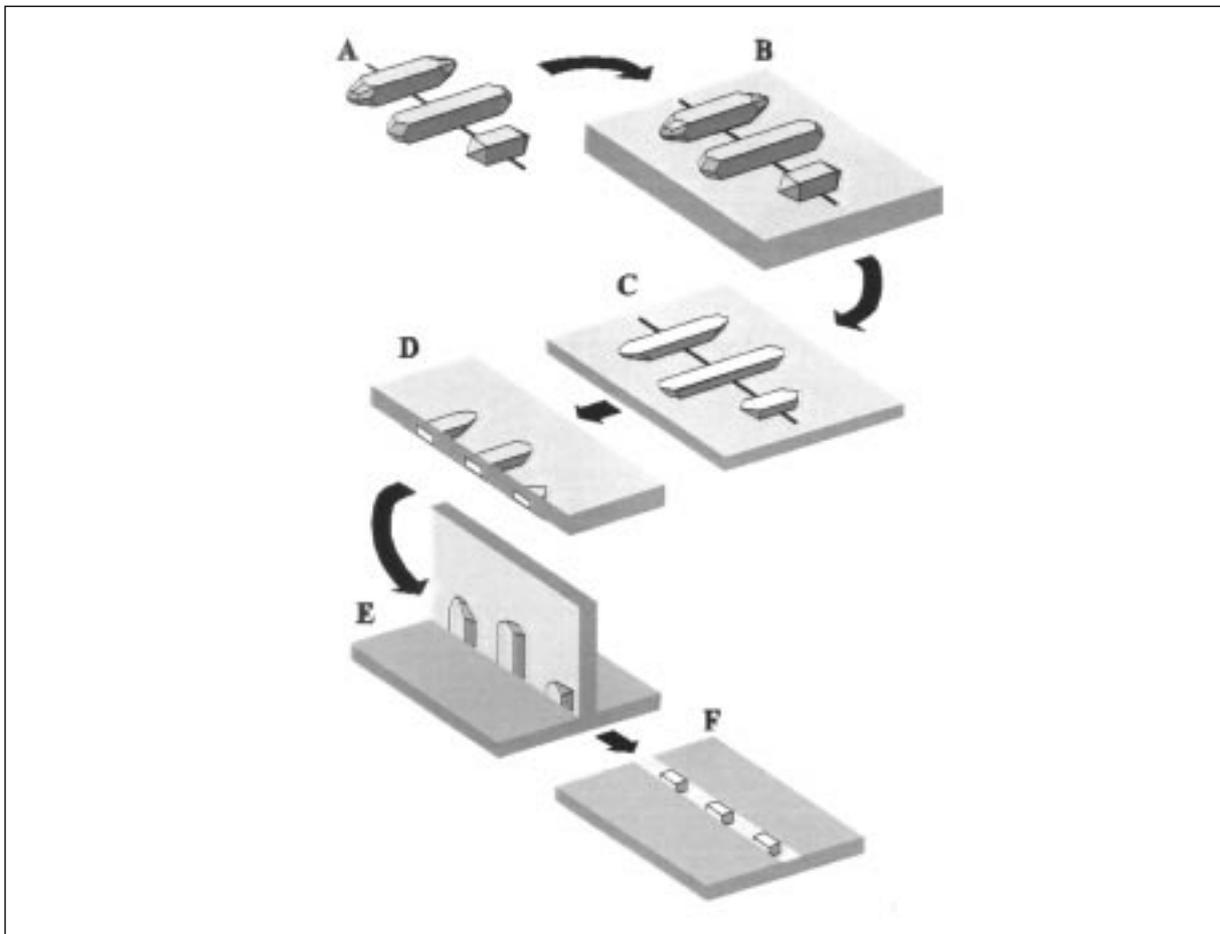


Abb. 1

Arbeitsschritte zur Präparation von Zirkonkristallen nach der vorgestellten Methode. A) Positionierung der Kristalle auf dem Objektträger und Orientierung ihrer kristallographischen Hauptachsen senkrecht zu einer eingeritzten Linie. B) Bedeckung des Objektträgers mit einer Schicht aus Epoxidharz. C) Abschleifen und Polieren des Präparates bis zum Erreichen der medianen Kristallschnitte. D) Neuerliche Übersichtung der Schnitte mit Epoxidharz und Abschleifen einer Präparathälfte. E) Aufkleben der verbliebenen Hälfte auf einen Objektträger. F) Abschleifen der Hälfte parallel zu den kristallographischen Hauptachsen der Zirkone bis eine Dicke der Querschnitte von ca.  $30\ \mu\text{m}$  erreicht ist.

## Ergebnisse

Morphologische Entwicklung von Zirkonen aus dem peralumischen Granitoid:

Die Zirkone des Perlgneises, welcher aufgrund seines erhöhten Anteiles an Feldspäten und Glimmern (vgl. Tab. 1) ein hohes molares  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$ -Verhältnis besitzt, sind weitestgehend durch eine äußere Morphologie mit deutlich vorherrschendem  $\{110\}$ -Prisma sowie großer  $\{211\}$ -Pyramide gekennzeichnet. Laut Typologiediagramm von PUPIN & TURCO (1972) sind ca. 80 % der untersuchten Kristalle den Subtypen S1, S2, S6 und S7 zuzuordnen. Die restlichen Zirkone gehören entweder zu den im Diagramm unmittelbar angrenzenden Subtypen oder lassen sich aufgrund von metamorphen Überwachungen nicht mehr genau einordnen. Von den Haupttypen der Zirkonpopulation des Perlgneises wurden repräsentative Kristalle nach der oben beschriebenen Methode präpariert und dokumentiert.

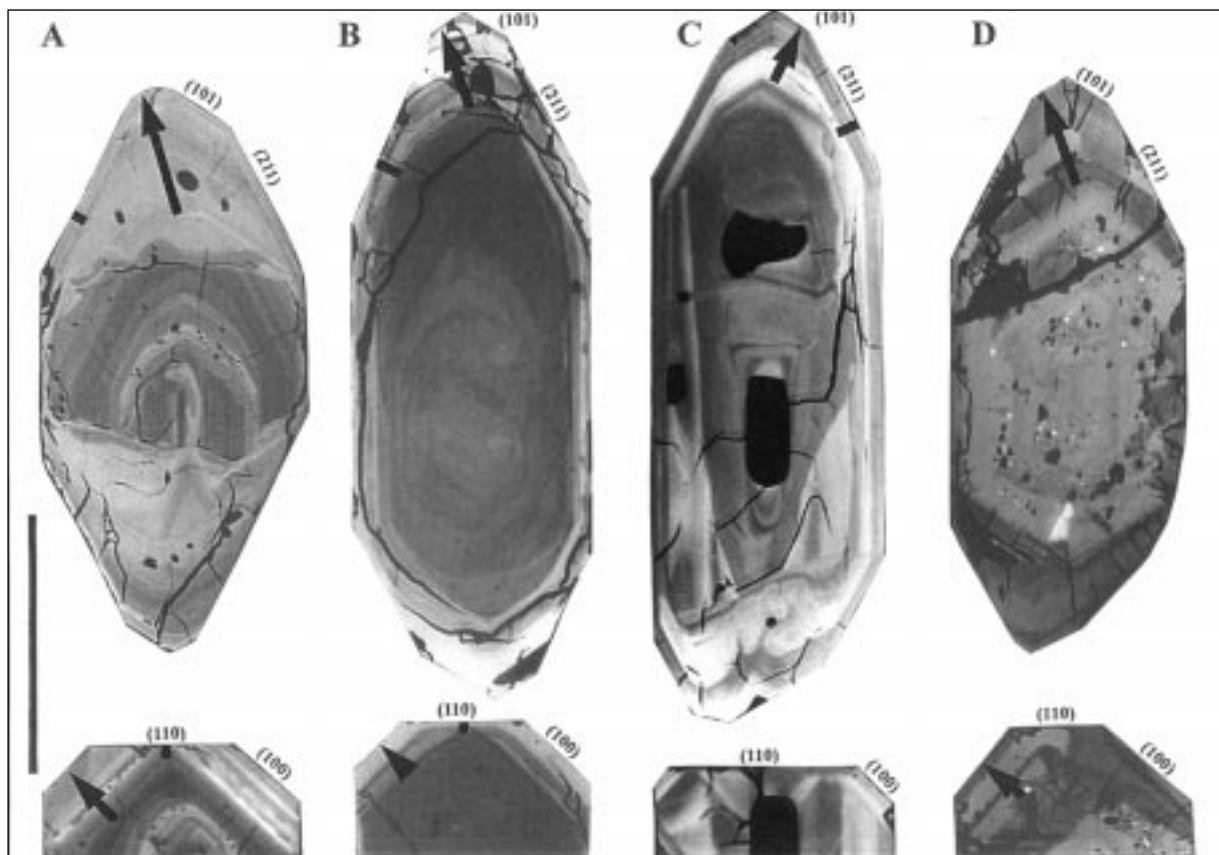


Abb. 2

Beispiele von Zirkonen aus einem peralumischen Granitoid. Kristall A und B lassen eine morphologische Entwicklung von anfänglich vorherrschendem  $\{100\}$ -Prisma und etwa gleich großen  $\{101\}$ - bzw.  $\{211\}$ -Pyramiden zu großen  $\{110\}$ - und  $\{211\}$ -Flächen erkennen. Kristall C ist durch Rekristallisationsstrukturen gekennzeichnet, welche die ursprüngliche Wachstumszonierung stellenweise überprägt haben. Bei Kristall D ist der metamiktisierte Kernbereich kennzeichnend (Balken:  $50 \mu\text{m}$ ).

Die interne morphologische Entwicklung der Zirkone des Perlgneises startet zumeist mit einem flächenmäßig dominanten  $\{100\}$ -Prisma sowie mit etwa gleich großer  $\{101\}$ - und  $\{211\}$ -Pyramide (Abb. 2 A, B; 4 A). Die Wachstumsrate von  $\{100\}$  wird bei nahezu allen Kristallen erst gegen Ende des Kristallwachstums gesteigert, wohingegen  $\{110\}$  einer Wachstumsblockade unterliegt und damit eine meist deutliche Größenzunahme erfährt. Dies führt zur Entstehung einer äußeren Kristallmorphologie mit oftmals vorherrschendem  $\{110\}$ -Prisma. Die Pyramidenentwicklung ist durch eine kontinuierliche Größenzunahme der  $\{211\}$ -Fläche gekennzeichnet, welche in der äußersten Wachstumszone ebenfalls eine klare flächenmäßige Vorherrschaft erlangt. Bei gleichzeitiger Betrachtung des Prismen- und des Pyramidenwachstums kann die Entwicklung der Zirkone des Perlgneises als Übergang von den Subtypen J3 und J4 zu den Subtypen S1 bzw. S2 beschrieben werden (Abb. 5 A).

Der Kernbereich der Zirkone kann deutlich zониert sein und durch Resorption entstandene Strukturen enthalten (Abb. 2 A) oder keinerlei bzw. eine nur sehr schwach entwickelte Wachstumszonierung aufweisen (Abb. 2 B). Einige Kristalle zeigen neben großen, zumeist idiomorphen Einschlußphasen helle, sehr unregelmäßige Rekristallisationsbereiche, welche teilweise die Wachstumszonierung vollständig überprägen können (Querschnitt der Abb. 2 C). Eine nicht unbedeutende Anzahl an Zirkonen (ca. 10 %) weist einen ähnlich gestalteten Kernbereich auf, wie ihn Kristall D in Abbildung 2 zeigt. Diese metamiktisierten Körner, deren Kristallstruktur durch den radioaktiven Zerfall von enthaltenem Uran und Thorium weitestgehend zerstört worden ist, sind durch zahlreiche rundliche, im Zuge der Präparation entstandene Löcher charakterisiert. Helle Punkte weisen auf Bereiche mit Urangelhalten von bis zu 10 % hin.

#### Morphologische Entwicklung von Zirkonen aus dem kalkalkalischen Granitoid:

Der Schlierengranit, dessen Chemismus durch ein  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis größer als 1.1 und Gehalte an CaO um 3.5 Gew.% gekennzeichnet ist, enthält Zirkonkristalle, deren äußere Morphologie weitestgehend von den beiden Flächen  $\{100\}$  und  $\{101\}$  bestimmt wird. Je nach zusätzlichem Auftreten der Flächen  $\{110\}$  und  $\{211\}$  können in der Zirkonpopulation des Granits vor allem die Subtypen S19, S20 S24, und S25 unterschieden werden. Die Kristalle zeigen im Gegensatz zu jenen des Perlgneises keinerlei Überwachungen und können daher allesamt statistisch verwertet werden.

Die interne morphologische Entwicklung der Kristalle ist anhand dreier Beispiele in Abbildung 3 dargestellt. Bezüglich der Prismenentwicklung kann zu Beginn meist das alleinige Vorherrschen der  $\{110\}$ -Fläche festgestellt werden (Abb. 3-A, 3-B; 4-B), während  $\{100\}$  oft erst gegen Ende des Kristallwachstums in Erscheinung tritt, hier jedoch durch Blockadeeffekte eine rasante Größenzunahme erfährt. Das Größenverhältnis zwischen den Prismen  $\{100\}$  und  $\{110\}$  variiert in der äußersten Wachstumszone der Zirkone zwischen 2:1 und 5:1. In manchen Fällen stellt  $\{100\}$  die alleinige äußere Prismenfläche des Kristalls dar (Abb. 3-B; 4- B). Die Pyramidenentwicklung ist anfangs durch die Fläche  $\{101\}$  gekennzeichnet, welche über den gesamten Kristallisationsprozeß hinweg mit annähernd konstanter Geschwindigkeit wächst (Abb. 3 A-C). In manchen Fällen kann auch hier gegen Ende des Kristallwachstums die steile Pyramide auftreten; sie spielt jedoch flächenmäßig eine meist untergeordnete Rolle. Zusammenfassend kann man das Wachstum der Zirkone des Schlierengranites im Sinne von PUPIN & TURCO (1972) als eine vom G-Typ ausgehende und im Bereich der J-Typen endende Entwicklung darstellen (Abb. 5-B).

Wie manche Kristalle des Perlgneises sind auch einige des Schlierengranits durch Rekristallisationsphänomene charakterisiert (Abb. 3-A), welche sich über weite Teile der Kristalle erstrecken und bis tief in das Kristallzentrum reichende Kerben bzw. Buchten ausbilden.

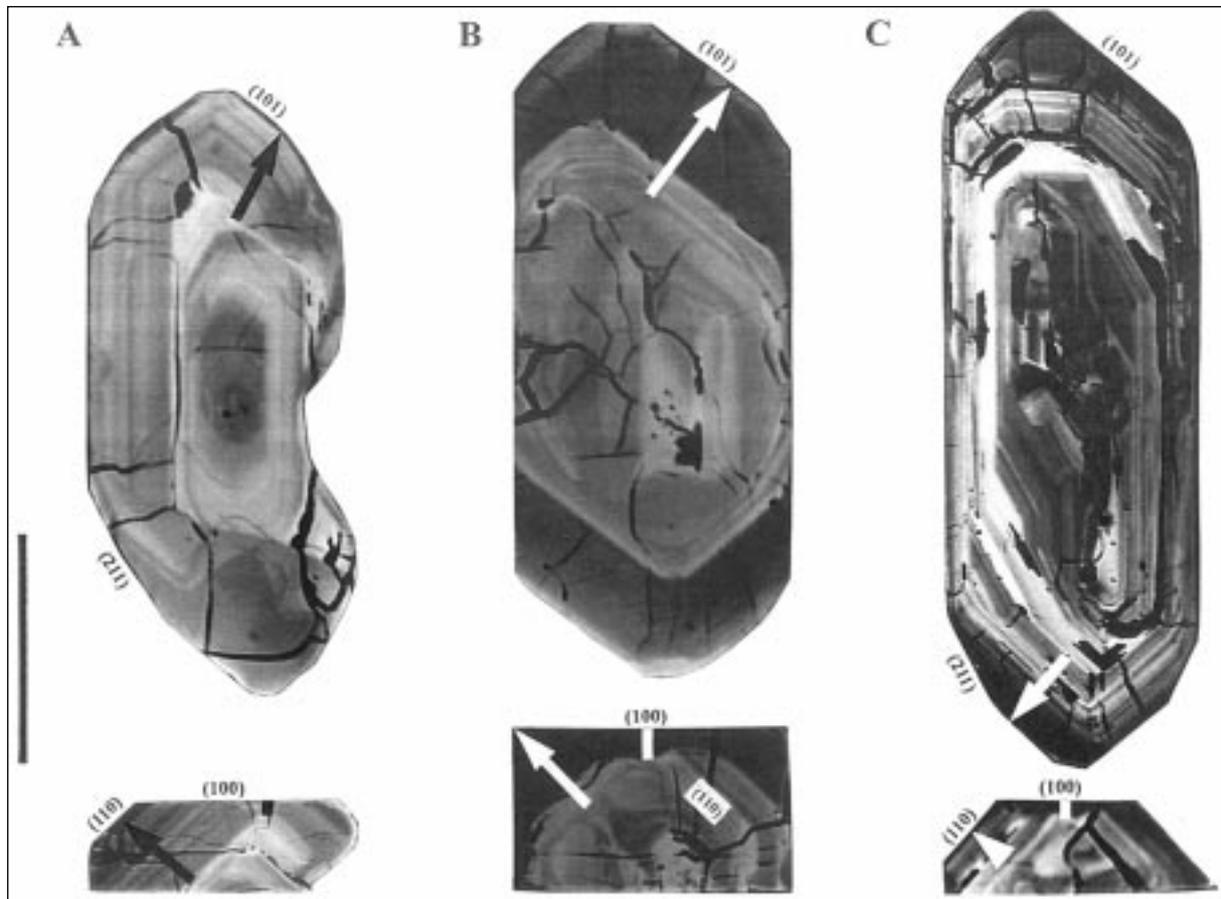


Abb. 3

Präparierte Zirkone aus einem kalkalkalischen Granitoid. Bei allen Kristallen kann ein anfänglich dominantes  $\{110\}$ -Prisma registriert werden, welches jedoch im weiteren Verlauf der Entwicklung zunehmend an Größe verliert. Gegen Ende des Kristallwachstums tritt das Prisma  $\{100\}$  in Erscheinung und nimmt durch Blockadeeffekte deutlich an Größe zu, um schließlich die äußere Morphologie der Kristalle zu bestimmen. Die Pyramidenentwicklung ist durch über weite Strecken konstante Wachstumsraten von  $\{101\}$  gekennzeichnet. Erst gegen Ende des Wachstums kann die steile Pyramide  $\{211\}$  zur flachen Pyramide hinzutreten (Balken:  $50 \mu\text{m}$ ).

## Diskussion

Mit Hilfe der vorgestellten Präparationsmethode konnte gezeigt werden, daß die morphologische Entwicklung von Zirkonen aus einem peralumischen magmatischen Gestein grundsätzlich anders verläuft als jene von Kristallen aus einem kalkalkalischen Granitoid. Im ersten Fall geht die Prismenentwicklung von der Fläche  $\{100\}$  aus, welche laut Periodic-Bond-Chain (PBC)-Theorie (HARTMANN, 1959, 1987; WOENSDREGT, 1992) als F-Form anzusprechen ist (Abb. 6),

während am Beginn der Pyramidenentwicklung sowohl die F-Fläche  $\{101\}$  als auch die S-Fläche  $\{211\}$  stehen. Der weitere Entwicklungsverlauf der Kristalle ist sowohl durch eine Blockade und damit verbundene Größenzunahme der S-Fläche  $\{110\}$  aufgrund der Adsorption von  $\text{H}_2\text{O}$ -Molekülen (VAVRA, 1994) und Spurenelementen (BENISEK & FINGER, 1993) als auch durch eine kontinuierliche Vergrößerung der S-Fläche  $\{211\}$  gekennzeichnet, welche vermutlich ebenfalls durch Adsorption von Alkalielementen bzw. Spurenelementen hervorgerufen wird (VAVRA, 1994). Die Wachstumsblockade des  $\{110\}$ -Prismas tritt häufig sehr plötzlich und erst gegen Ende der Kristallentwicklung auf, was durch eine Anhäufung und damit verbundene stärkere Wirkung der wachstumssteuernden Faktoren in der Restschmelze erklärt werden könnte. Die Gesamtentwicklung von Zirkonen aus peralumischen Granitoiden wird demzufolge durch Blockadeeffekte gesteuert und weicht dadurch deutlich von der laut PBC-Theorie theoretischen Morphologie ( $\{100\} + \{101\}$ ) ab. PUPIN (1980) beschreibt für hyperalumische Granitoide aus dem französischen Zentralmassiv eine ähnliche, wenn auch nicht identische, morphologische Entwicklung der Zirkonkristalle (Abb. 7). Wie im hier dargestellten Beispiel wird das Wachstum dieser Kristalle durch eine zunehmende Dominanz der S-Flächen  $\{110\}$  und  $\{211\}$  geprägt. Im Unterschied zu dem in dieser Studie untersuchten peralumischen Granitoid ist jedoch gegen Ende der Entwicklung wiederum ein Trend hin zur stärkeren Ausbildung der F-Form  $\{101\}$  und damit in Richtung zum G-Typ (PUPIN & TURCO, 1972) zu erkennen. Diese Endentwicklung konnte im untersuchten Gestein nicht beobachtet werden (vgl. Abb. 2, 5-A).

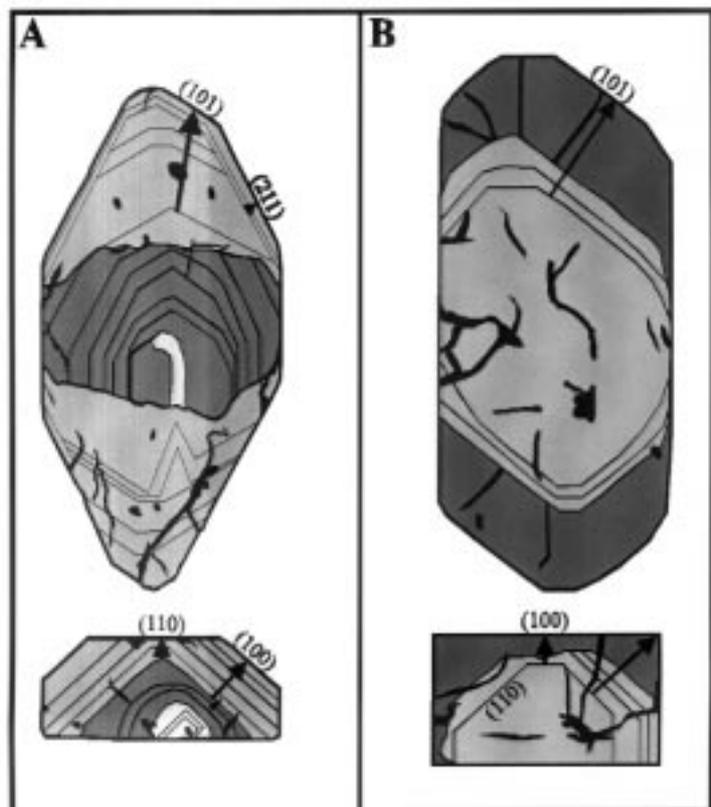


Abb. 4

Schematische Darstellungen je eines Zirkons aus dem Perlgneis (A) und aus dem Schlierengranit (B) mit ihren Wachstumszonierungen. Pfeile kennzeichnen die Entwicklungstrends der Pyramiden- und Prismenflächen.

Die morphologische Entwicklung der Zirkone aus dem kalkalkalischen Granitoid startet mit der S-Fläche  $\{110\}$  und der F-Fläche  $\{101\}$ . Nur geringe Adsorption von  $\text{H}_2\text{O}$ -Molekülen und Spurenelementen führt meist gegen Ende des Kristallisationsprozesses zu einer Erhöhung der Wachstumsrate des  $\{110\}$ -Prismas und zur Entstehung der F-Fläche  $\{100\}$  (BENISEK & FINGER, 1993).

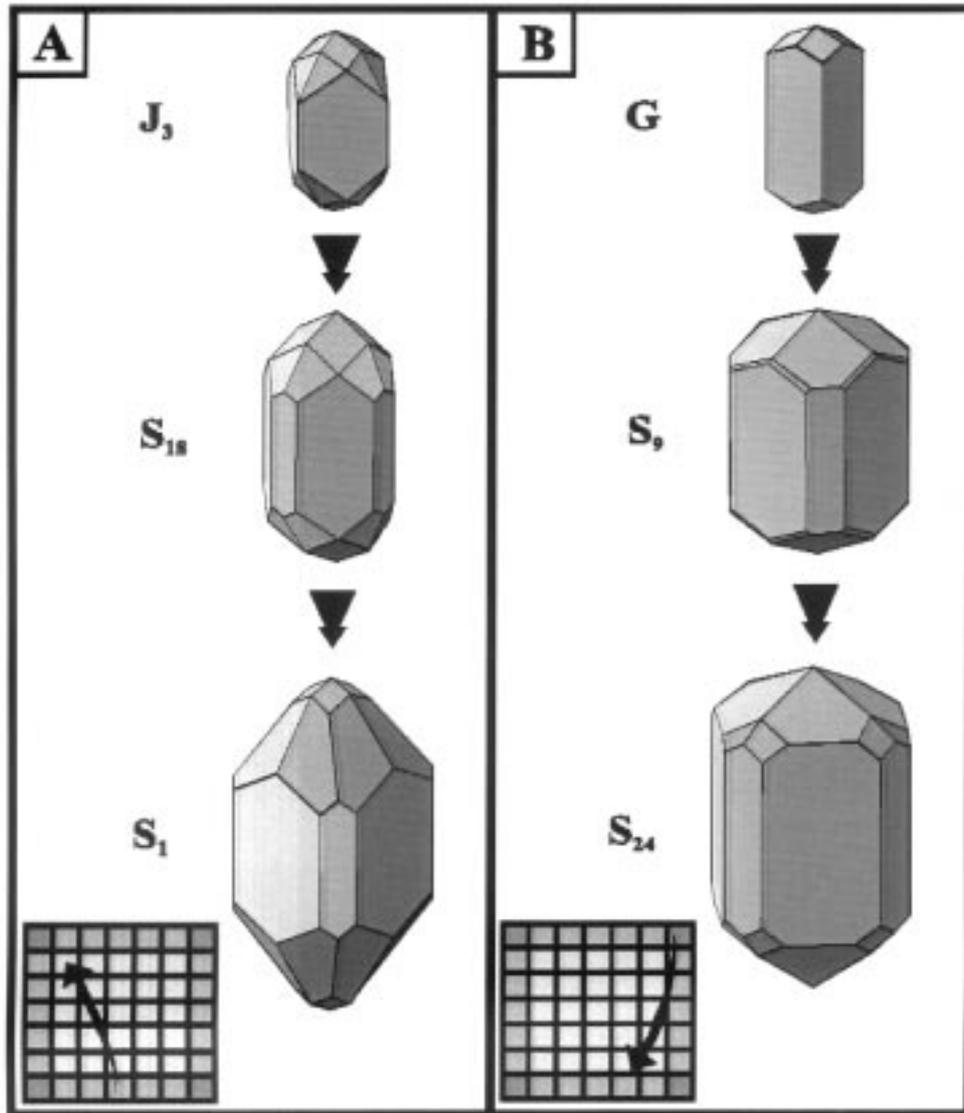


Abb. 5

Darstellung der Entwicklungstrends von Zirkonen aus dem peraluminischen (A) und kalkalkalischen Granitoid (B) mit Hilfe von Kristallmodellen sowie Typologiediagrammen (PUPIN & TURCO, 1972). Zirkone ohne Prismen bzw. mit der Fläche  $\{311\}$  wurden in den Diagrammen nicht berücksichtigt.

Die Pyramidenentwicklung ist häufig durch konstante Wachstumsraten von  $\{101\}$  gekennzeichnet, sodaß lediglich am Ende die S-Form  $\{211\}$  mit untergeordneter flächenmäßiger Ausdehnung in Erscheinung treten kann. Die äußere Kristallmorphologie entspricht annähernd der laut PBC-Theorie "idealen" Form, da sie hauptsächlich von den beiden F-Flächen  $\{100\}$  und  $\{101\}$  aufgebaut wird. Die von PUPIN (1980) beschriebenen Zirkone aus kalkalkalischen Granitoiden zeigen einen der oben beschriebenen Entwicklung genau entgegengesetzten morphologischen Trend (Abb. 5-B, 7). Hier verläuft die Entwicklung von  $\{100\} + \{101\}$  in Richtung  $\{110\} + \{101\}$ , also vom S<sub>19, 20</sub>-Subtyp in Richtung G-Typ. Der im Rahmen der vorliegenden Studie gezeigte Wachstumstrend, an dessen Ende der D-Typ steht, wurde bislang weder von PUPIN noch in der neueren Literatur beschrieben und kann daher den bereits bekannten morphologischen Trends von Zirkonen aus granitischen Gesteinen hinzugefügt werden.

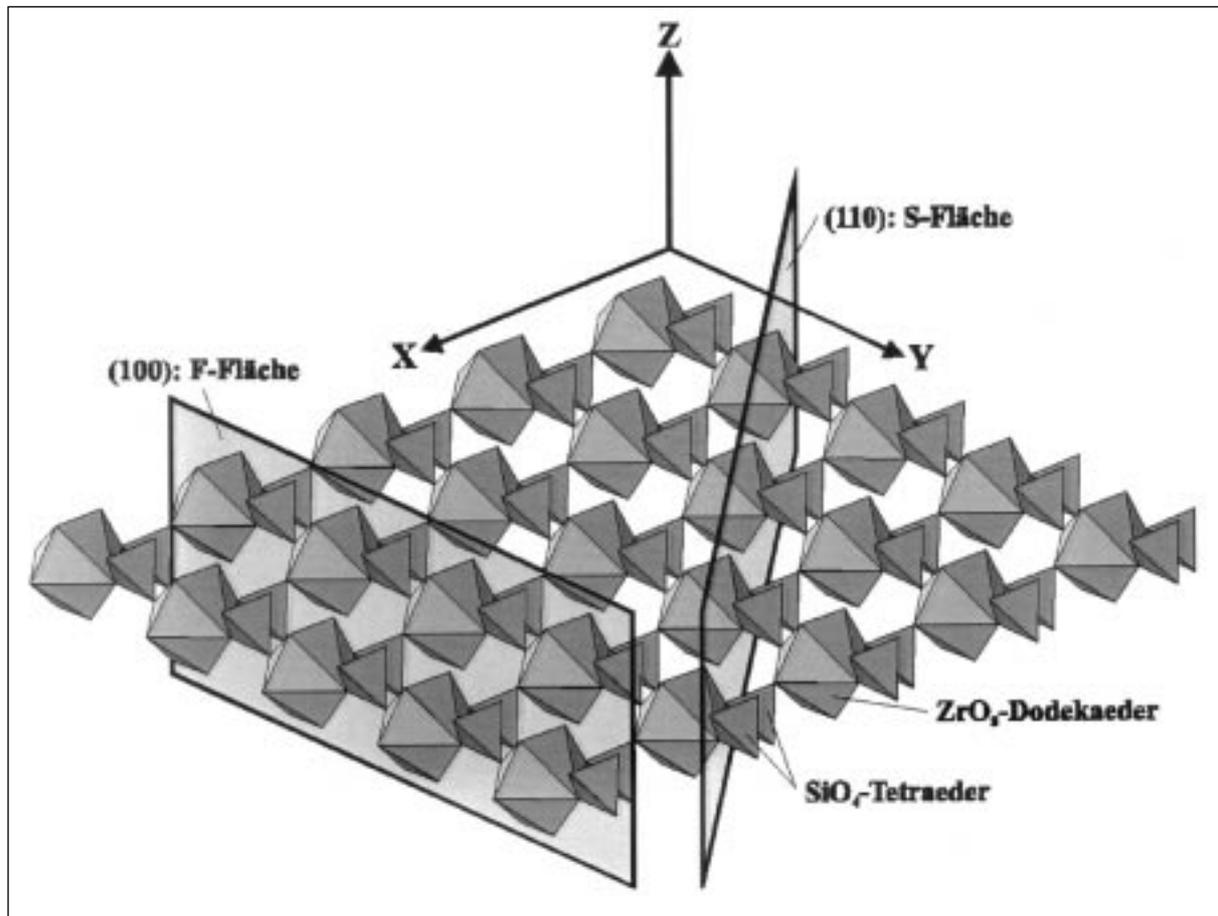


Abb. 6

Periodic-Bond-Chain (PBC)-Theorie (HARTMANN, 1959) am Beispiel der Prismenflächen von Zirkon. Die PBC-Methode ermöglicht eine Ableitung der wichtigsten Kristallflächen aus der Struktur. Zu diesem Zweck werden die Bindungsketten in der Struktur bestimmt. Die sogenannten F-Flächen werden dann in jenen Richtungen gefunden, wo diese Bindungsketten durch starke Bindungen aneinandergelüpft sind. S-Flächen stumpfen im allgemeinen die Kanten zweier F-Flächen ab. Bei Zirkon ist in Richtung  $[100]$  bzw.  $[010]$  eine durchgehende Bindungskette aus  $ZrO_8$ -Dodekaedern und  $SiO_4$ -Tetraedern zu beobachten. Demzufolge können  $\{100\}$  bzw.  $\{010\}$  als F-Flächen angesprochen werden. In Richtung  $[110]$  liegt hingegen keine durchgehende Bindungskette vor, weshalb  $\{110\}$  einer S-Fläche entspricht. In seiner theoretischen Wachstumsform wird Zirkon lediglich von den beiden F-Flächen  $\{100\}$  und  $\{101\}$  zusammengesetzt (WOENSDREGT, 1992).

Wenn die vorgestellte Präparationstechnik auch den Nachteil eines hohen zeitlichen und apparativen Aufwandes besitzt, so können mit ihrer Hilfe dennoch fundierte Aussagen über die morphologische Entwicklung von Zirkonkristallen aus beliebigen magmatischen Gesteinen gemacht werden. Wie sich bereits durch Anwendung der Methode auf zwei Granitoide mit unterschiedlichem Chemismus zeigte, sind die Entwicklungstrends der Zirkone noch lange nicht vollständig aufgeklärt. Die eingeführte Technik könnte für diesen Zweck ein weiteres Hilfsmittel darstellen.

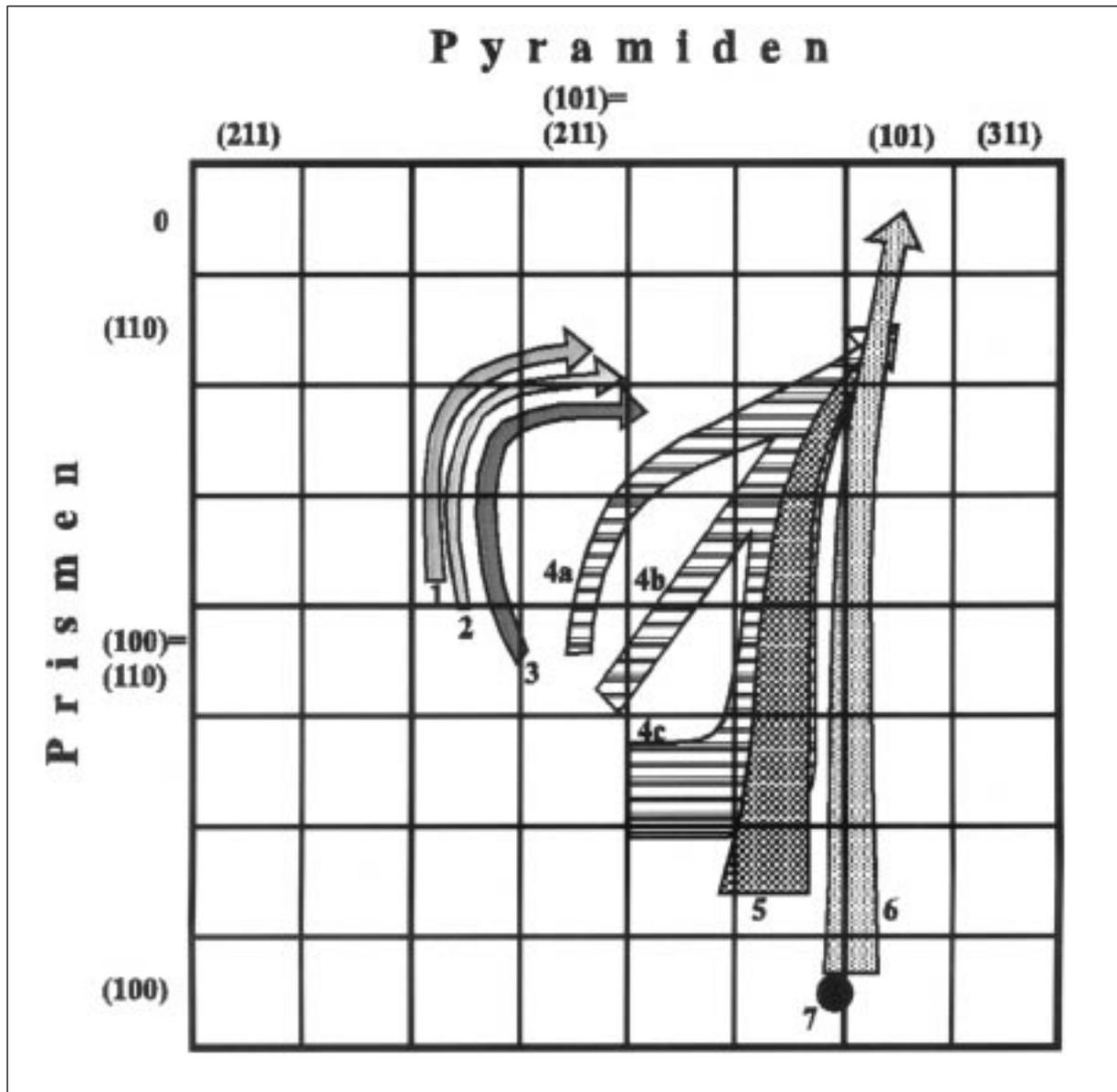


Abb. 7

Typologische Entwicklung von Zirkonen aus verschiedenen granitischen Gesteinen (nach PUPIN, 1980).

- (1) Alumische Leukogranite,
- (2) (Sub)autochthone Monzogranite und Granodiorite,
- (3) Intrusive alumische Monzogranite und Granodiorite,
- (4a-c) Kalkalkalische Granite,
- (5) Subalkalische Granite,
- (6) Alkalische Granite,
- (7) Tholeiitische Granite

## Literatur

- BENISEK, A. & FINGER, F. (1993): Which factors control the prism tracht of granite zircons. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114, 441-451.
- CARUBA, R. (1978): Morphologie de zircons synthétiques: corrélations pétrogénétiques. - *Can. Mineral.*, 16, 315-323.
- FRASL, G. (1963): Die mikroskopische Untersuchung der akzessorischen Zirkone als eine Routinearbeit des Kristallingeologen. - *Jb. Geol. B.-A.*, 106, 405-428.
- FRASL, G. & FINGER, F. (1991): Geologisch-petrographische Exkursion in den österreichischen Teil des süd-böhmischen Batholiths. - *Beih. Europ. J. Mineral.*, 3, 23-40.
- HARTMANN, P. (1959): Über die Gleichgewichtsformen einiger Ionenkristalle. - *N. Jb. Min. Monatsh.*, 73, 73-84.
- HARTMANN, P. (1987): Modern PBC theory. In: SUNAGAWA, I. (ed.): *Morphology of crystals*. - Terra Scientific, Tokyo, pp. 269-319.
- HOPPE, G. (1963): Die Verwendbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen. - *Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Klasse für Bergbau, Berlin*.
- FUCHS, G. & MATURA, A. (1976): Zur Geologie des Kristallins der südlichen Böhmisches Masse. - *Jb. Geol. B.-A.*, 119, 1-43.
- PATERSON, B.A., STEPHENS, W.E. & HERD, D.A. (1989): Zoning in granitoid accessory minerals as revealed by backscattered electron imagery. - *Min. Mag.*, 53, 55-61.
- POLDERVAART, A. (1956): Zircon in rocks: 2. Igneous rocks. - *Am. J. Sci.*, 254, 521-554.
- PUPIN, J.P. (1980): Zircon and granite petrology. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220.
- PUPIN, J.P. & TURCO, G. (1972): Une typologie originale du zircon accessoire. - *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.*, 95, 348-359.
- SUNAGAWA, I. (1984): Growth of crystals in nature. In: SUNAGAWA, I. (ed.): *Materials science of the Earth's interior*. - Terra Scientific, Tokyo, pp. 63-105.
- VAVRA, G. (1990): On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 90-99.
- VAVRA, G. (1994): Systematics of internal zircon morphology in major Variscan granitoid types. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 117, 331-344.
- VENIALE, F., PIGORINI, B. & SOGETTI, F. (1968): Petrological significance of accessory zircon in the granites from Baveno, M. Orfano and Alzo (North Italy). - *Proc. 23<sup>rd</sup> Int. Geol. Congr.*, 13, 243-268.
- WOENSDREGT, C.F. (1992): Computation of surface energies in an electrostatic point charge model: II. Application to zircon. - *Phys. Chem. Mineral.*, 19, 59-69.

bei der Redaktion eingegangen: 31. Mai 1999

revidierte Fassung angenommen: 30. Juni 1999