

WIE ZEICHNEN ZIRKONE GEOLOGISCHE GESCHICHTE AUF?
AM BEISPIEL DES LEPTYNITVORKOMMENS ZAUNMÜHLE (PASSAUER WALD).

von

PETER TONDAR, GEORG TROLL(+,
WILHELM BAUBERGER UND WOLF-DIETRICH OTT(++

Zusammenfassung

Die Zirkone eines Leptynits im Passauer Wald wurden mit dem Rasterelektronen- und Durchlichtpolarisationsmikroskop untersucht: Drei unterschiedliche Zirkonbildungsphasen liegen vor. Die ersten zwei sind magmatisch, die letzte entweder hochmetamorph oder ebenfalls magmatisch. Die Bildungstemperatur der Außenhülle liegt aufgrund der Zirkontypologie, die bisher nur für Magmatite definiert ist, über 800° C. Die Regionalmetamorphose hat nach BLÜMEL (1983) im Bayerischen Wald maximal 4,2 +/- 0,4 kbar und 690° +/- 50° C erreicht.

Abstract

Zircons of a leptynite from the Passauer Wald (Moldanubicum) have been investigated with the scanning electron microscope and the polarizing microscope: There are three different phases of zircon genesis. The first two are magmatic, the last one is high metamorphic or magmatic too. The growth-temperature of the marginal rim, depending on zircon-typology, only for magmatites defined, is higher than 800° C. After BLÜMEL (1983) the regional metamorphism in the Bavarian Forest had a maximum of 4,2 +/- 0,4 kbar and 690° +/- 50° C.

(+ Dipl. Min. P. Tondar und Prof. Dr. G. Troll, Institut für Mineralogie und Petrographie der Ludwig-Maximilians-Universität München, Theresienstraße 41, 8000 München 2.

(++ Dr. W. Bauberger und Dr. W.-D. Ott, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, 8000 München 40.

1. Allgemeines

Das Grundgebirge des Passauer Waldes besteht überwiegend aus Metasedimenten proterozoischen oder/bis altpaläozoischen Alters, den Gneisen der Monotonen und den Gneisen der Bunten Gruppen. Das Ausgangsmaterial der gleichförmigen Gneise der Monotonen Gruppen sind überwiegend Grauwacken und Pelite. Die Gesteine der Bunten Gruppen sind Amphibolit, Leptynit, Marmor, Kalksilikatfels, Graphitgneis und, mit dem größten Anteil, Biotit-Plagioklas-Lagengneis. Die Wechsellagerung dieser Gesteine im Dezimeter- bis Zehnermeterbereich ist kennzeichnend.

GÜMBEL (1868, S. 340 und 584) beschreibt "einzelne kleine Inseln in der Umgegend von Wegscheid" von "ächtem, Granaten-führendem Granulit". Eines dieser Vorkommen kartierte er bei Zaunmühle, zwei Kilometer nördlich Wegscheid (R 54 11 10, H 53 87 23; Blatt 7348 Wegscheid 1:25000 der topographischen Karte von Bayern). Nach der heutzutage angewandten Nomenklatur metamorpher Gesteine sind diese Vorkommen als Leptynit zu bezeichnen und einer Bunten Gruppe zuzuordnen. Der schon von HAÜY (1822, S. 532) benutzte Gesteinsname Leptynit wurde durch COGNÉ & V. ELLER (1961, S. 59) neu definiert: "*Le terme de Leptynite réunit, dans une classification verticale allant de l'épizone à la catazone, toutes les roches métamorphiques acides de composition essentiellement quartzofeldspatique.*" (Leptynite sind saure Quarz-Feldspatmetamorphite ungeachtet des Metamorphosegrades).

Ende Oktober 1986 begingen wir den Raum Wegscheid, um die Verbreitung von Bunten Gruppen festzustellen und die von GÜMBEL beschriebenen Vorkommen "ächten, Granaten-führenden Granulites" zu suchen und, wo noch möglich, zu beproben. Auf dem Vorkommen Zaunmühle steht ein größerer Bauernhof inmitten seiner Felder. Aus dem Aushub von Siloanlagen konnten wir einige kleinere und einen größeren Block Leptynit bergen; die folgenden Untersuchungen beziehen sich auf den größeren Block von ca. 20 kg Gewicht.

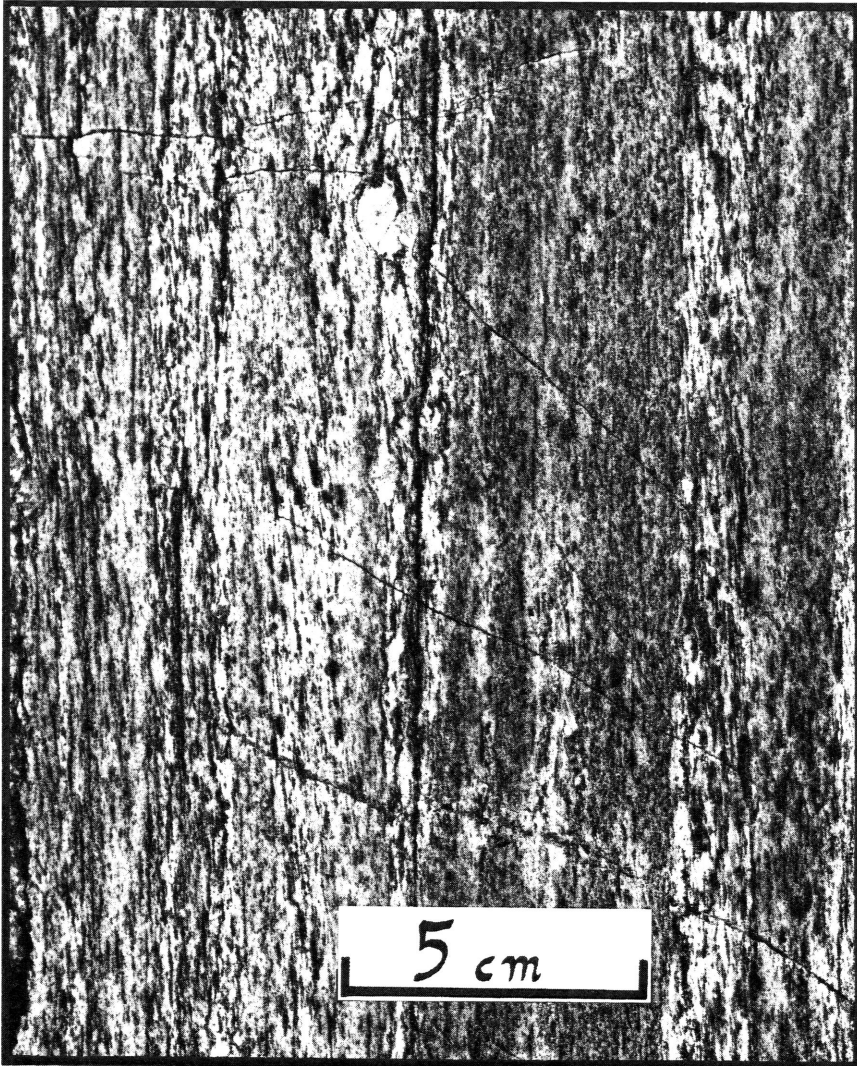


Abb. 1:

Gesägte Fläche aus dem Leptynitblock. In der oberen Bildmitte befindet sich das im Text erwähnte pyroxenführende Auge. Im gleichen Horizont gibt es noch weitere, kleinere Augen. Der Lagenbau ist als ehemalige Schichtung eines Tuffes interpretierbar.

2. Petrographie

Der vorgefundene Leptynit ist von gelblich-weißer Farbe mit straffer, feineiliger Planarstruktur (Abb. 1). Die gelblich-weißen, zuckerkörnigen Feldspäte stellen den größten Anteil am Gesteinsvolumen. Hauptgemengteil des Leptynites ist mikroklingegitterter und zum Teil sericitisierter Kalifeldspat, dessen annähernd gleichkörnige Pflasterstruktur von parallelen Quarzflatschenzügen bis langgestreckten Linsen bis 1 Millimeter Breite durchzogen ist (Modalanalyse in Volumenprozent: Kalifeldspat: 43, Plagioklas 10, Quarz 44, Sonstige 3). Nebengemengteile sind Plagioklas und Chlorit. Akzessorisch sind Orthopyroxen, Erz, Fibrolith und Zirkon feststellbar. Eine Ausnahme in diesem gleichförmigen Erscheinungsbild des Gesteins ist ein zentimetergroßes Auge, das mit grauen Mineralkörnern gefüllt ist. Unter dem Mikroskop erscheinen sie als Orthopyroxene.

3. Chemie

Dem vorgefundene Leptynit wurde für die chemische Analyse ein Handstück mit einem Gewicht von ca. 1 kg entnommen, mit einem Backenbrecher zerkleinert und in einer Planetenkugelmühle mit Achatgefäßen analysenfein aufgemahlen. Aus dieser Ausgangssubstanz wurde eine Schmelztablette unter Zugabe eines Gemisches aus Lithiumtetraborat und Lithiummetaborat (Spektroflux 110, Johnson & Matthey) (Mischungsverhältnis 1:6) hergestellt. Die Analyse erfolgte in einem Röntgenfluoreszenzspektrometer der Fa. Phillips (PW 1404/10 mit Microvax II - Rechner) und erbrachte folgende chemische Zusammensetzung:

in Gew%	SiO ₂	76,76	in ppm	Ba	798
	Al ₂ O ₃	12,77		Ce	89
	Fe ₂ O ₃	0,63		La	33
	FeO	0,24		Nb	2
	MnO	0,02		Ni	3
	MgO	0,18		Rb	70
	CaO	1,24		Sr	138
	Na ₂ O	3,43		V	12
	K ₂ O	3,94		Y	7
	TiO ₂	0,08		Zr	23
	P ₂ O ₅	0,03			
	LOI	0,46			
	Summe	99,82			

Aus dieser Analyse resultiert ein Differentiationsindex von 91,76 was nach THORNTON & TUTTLE (1960) einem Alkalirhyolith entspricht. Zum gleichen Resultat führt auch ein Eintrag ins Q - A - P - Diagramm nach STRECKEISEN (1967). Danach liegt dieser Leptynit im Rhyolithfeld. Die chemische Analyse erhärtet den Hinweis auf einen magmatischen, effusiven Ursprung des Leptynites.

4. Die Zirkonuntersuchungen

Für die Zirkonuntersuchungen wurde ein Teil des Gesteins im Stahlmörser vorsichtig von Hand unter häufigem Absieben der Fraktion < 1,4 mm zerkleinert, das Mahlgut dann geschlämmt und in Salzsäure gereinigt (FRASL 1963). Danach wurden die Schwerminerale mit Tetrabrommethan (Dichte = 2.96-2.97) abgetrennt. Ein FRANTZ-Magnetscheider entzog alle magnetisch abtrennbaren Minerale. In der verbliebenen Fraktion waren die Zirkone für visuelle Untersuchungen angereichert.

Es wurden drei Untersuchungsverfahren angewendet:

- Klassifizierung der Aussenhülle gemäß PUPIN & TURCO (1972b, 1974, 1975, 1980, 1981, 1985)
- Durchlichtbeobachtung des Innenbaues
- Größen- und Längen/Breitenmessung

4.1 Untersuchungen der Zirkonaussenflächen

Fast immer bildet der tetragonale Zirkon nur vier kristallsymmetrisch verschiedene Flächen aus, die beiden Prismenflächen (110) und (100) und die zwei Pyramidenflächen (101) und (211) (Indizierung der Kristallflächen nach CARUBA & TURCO 1971). Nach PUPIN & TURCO (1972b ff.) bildet das Verhältnis der Pyramidenflächen als Abszisse und das der Prismenflächen als Ordinate ein Diagramm, in welchem Zirkone je nach Flächenentwicklung dargestellt werden können (Abb. 2). Für unsere Untersuchungen werteten wir mit dem Rasterelektronenmikroskop 101 unzerbrochene, idiomorphe Kristalle

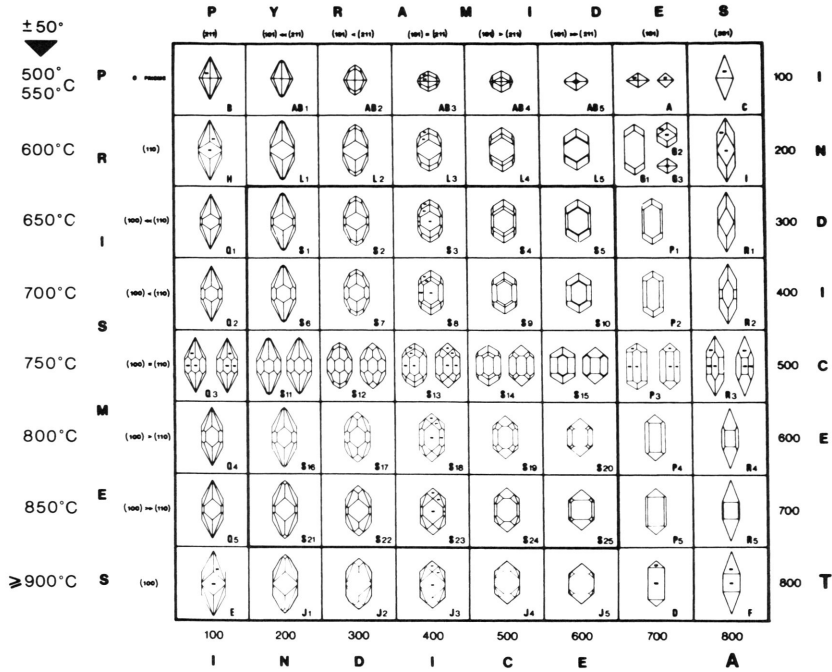


Abb. 2:
Diagramm aus PUPIN & TURCO 1981.

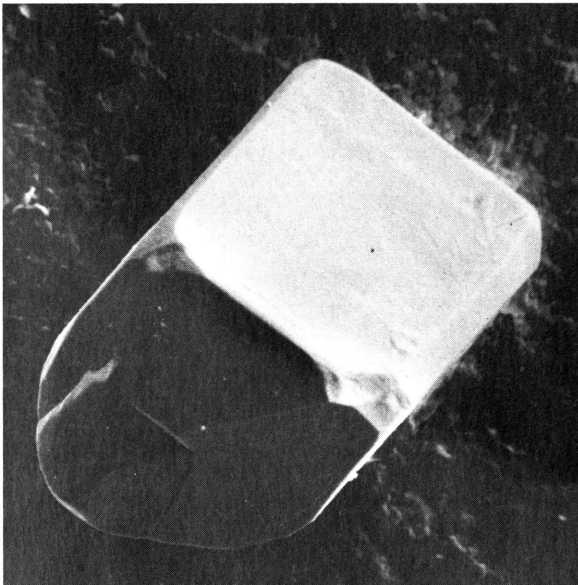


Abb. 3:
Idiomorpher Zirkon,
Länge = 0,2 mm,
Typ S25 der Einteilung
nach PUPIN & TURCO
(1972b ff.)

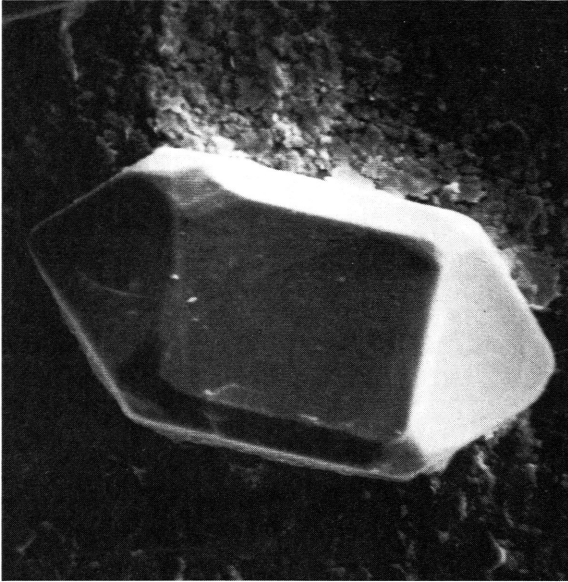


Abb. 4:
Idiomorpher Zirkon,
Länge = 0,2 mm,
Typ S₁₉ der Einteilung nach
PUPIN & TURCO (1972b ff.)

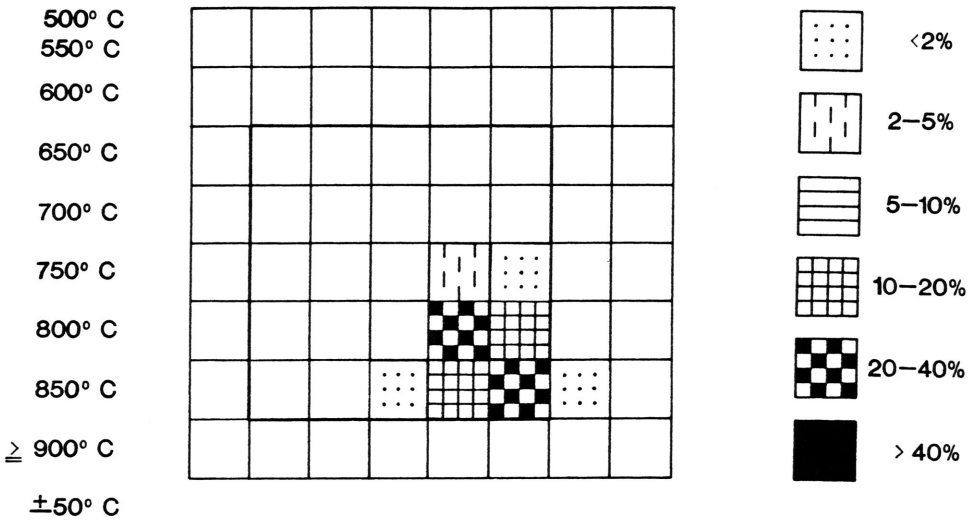


Abb. 5:
PUPIN-Diagramm der Zirkone des Vorkommens Zaunmühle

aus, deren Flächenentwicklung (Abb. 3,4) als Häufigkeitsverteilung im PUPIN-Diagramm dargestellt ist (Abb. 5). PUPIN & TURCO (1972a) ordneten dem Verhältnis der Prismenflächen zueinander eine geothermometrische Funktion zu: je größer (100) aufkosten von (110) entwickelt ist, umso höher ist die Temperatur des Magmas, 600° C bei ausschließlich nach (110) ausgebildeten Prismenflächen, bis 900° C bei nur nach (100) ausgebildeten Prismenflächen. Für die Zirkone des Vorkommens Zaunmühle bedeutet dies ca. 800°–850° C als die bei der Kristallisation der Aussenhülle herrschende Temperatur.

Viele Zirkonkristalle sind gerundet, oft durch hochindizierte Flächen, was auf Lösungserscheinungen (KLEBER 1977, S. 205) bei der Metamorphose zurückzuführen ist (Abb. 6).

4.2 Untersuchungen des Zirkoninnenbaus

Mehrere hundert Zirkone wurden in hochlichtbrechendem Immersionsöl ($n_{\text{Immersionsöl}} = n_{\text{Zirkon}}$) auf einen Objektträger verbracht und ihre c-Achse unter dem Durchlichtpolarisationsmikroskop parallel zum Polarisator ausgerichtet. Es konnte bei den meisten Zirkonen ein dreiphasiger Schalenbau festgestellt werden. Die einzelnen Schalen sind durch charakteristische Einschlüsse gekennzeichnet und werden im Folgenden als Kern, Kernhülle und Aussenhülle gekennzeichnet (s.a. Abb.: 7–17):

1. Kern: – meist vorhanden (Abb. 8–13)

- selten idiomorph mit (101) (Abb. 9,11), häufiger xenomorph–gerundet oder nur als Bruchstück (Abb. 8,9) erhalten, winzig bis Großteil des Zirkons aufbauend (Abb. 10,8)
- Innenbau: häufig reich an winzigen Blasen (<< 0,01 mm) (Abb. 11), oft etwas getrübt (metamikt ?)

2. Kernhüllen:

- häufig ausgebildet (Abb. 10–19)
- dünn kernumhüllend bis Großteil des Zirkons aufbauend, idiomorph bis hypidiomorph gerundet, fast ausschließlich mit (101) als Pyramidenfläche, seltener Bruchstück (Abb. 13,14,16,17,19)

- klar, zuweilen mit größeren Blasen und Einschlüssen (bis 0,04 mm); oft reicher, idiomorpher Zonarbau mit (101), darin selten gerundete Zonen (Abb. 11) eingeschaltet; teilweise eigenes Rißsystem (Abb. 11)

3. Aussenhülle:

- meist ausgebildet
- idiomorph (Aussenflächen s. Abb. 5) bis gerundet, entwickelt als dünne Schicht um den Kern bis allein den Zirkon aufbauend (Kern und Kernhüllen fehlen dann)
- klar, selten bis zu zweifach zoniert, häufig stark von vom Kern bzw. den Kernhüllen ausgehenden Rissen durchzogen

4.3 Kristallvermessungen

Die Längen und Breiten wurden ebenfalls mit dem Durchlichtmikroskop an jeweils 200 unzerbrochenen Zirkonen vermessen (Abb. 20) und daraus die Längen/Breiten-Verhältnisse berechnet.

5. Ergebnisse

In den Zirkonen des Leptynites sind 4 Perioden der Gesteinsgeschichte wie auf einem Fahrtenschreiber aufgezeichnet:

1. Die mehr oder weniger trüben Kerne sind aus der Schmelze kristallisiert, weil vereinzelt noch Relikte idiomorpher (101)-Pyramidenflächen erhalten sind und Bläschen enthalten sein können. Eine höchstwahrscheinlich metamikte Eintrübung deutet auf Urangehalte hin. Diese können bei Wachstum unter den Bedingungen der Metamorphose oder Anatexis kaum eingebaut werden. Das Magma hat bereits einzelne ältere Zirkone übernommen, darauf deutet der auf Abbildung 9 erfasste "Innenkern" hin.
2. Die magmatischen Bedingungen wechseln vollständig oder das Gestein wird aufgearbeitet und ein erneuter magmatischer Zyklus setzt ein. Jetzt entsteht das reich zonierte System der Kernhüllen mit den größeren Einschlüssen und den Zweiphaseneinschlüssen, wobei die Frage Gas/Flüssig

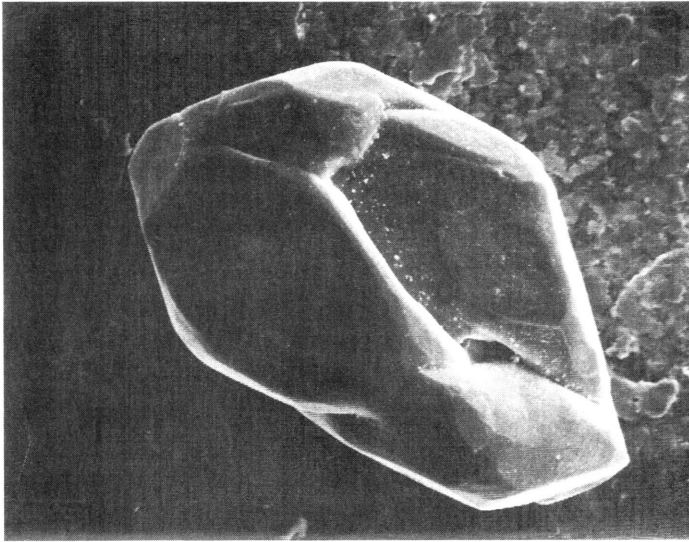


Abb. 6:

Die mit hochindizierten Flächen erfolgte Rundung dieses Kristalls weist auf Lösungsvorgänge hin. Die große Einbuchtung dürfte der Abdruck eines das Wachstum behindernden Kristalles sein. Größe = 0,2 mm.

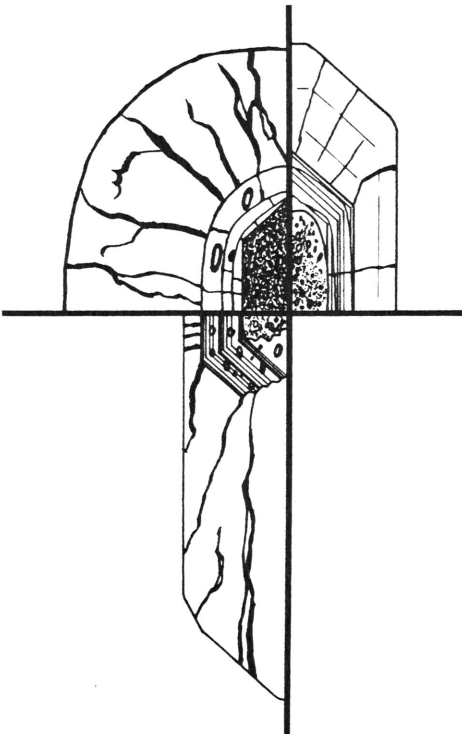


Abb. 7:

In einer Zeichnung können charakteristische Merkmale hervorgehoben werden. Aufgrund der Symmetrieverhältnisse beim Zirkon ist es nicht notwendig, in der Ansicht rechtwinklig zur c -Achse den ganzen "Durchschnitts"-Kristall zu zeichnen. In der Zeichnung eines viertel Zirkons kann der gleiche Informationsgehalt untergebracht werden. Mit der Zeichnung weiterer "Durchschnitts-zirkonviertel" wird ein Überblick über die Variationsbreite der für eine Zirkonpopulation charakteristischen Merkmale gegeben.

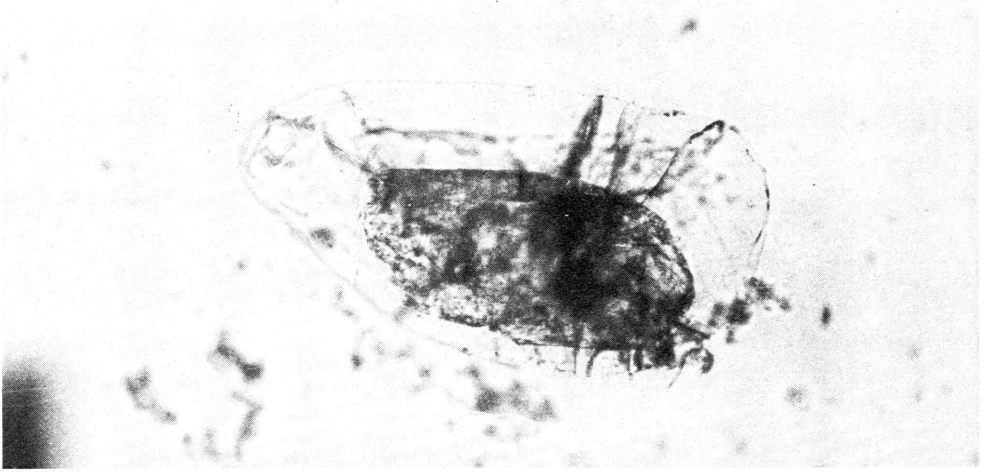


Abb. 8:

Zirkon mit im Verhältnis zum ganzen Kristall großem, gebrochenem, etwas trübem (Metamiktisierung?) Kern in klarer, rissiger, gerundeter Aussenhülle. Das typische System der idiomorphen Kernhüllen fehlt. Länge Bildunterkante: 0,45 mm.

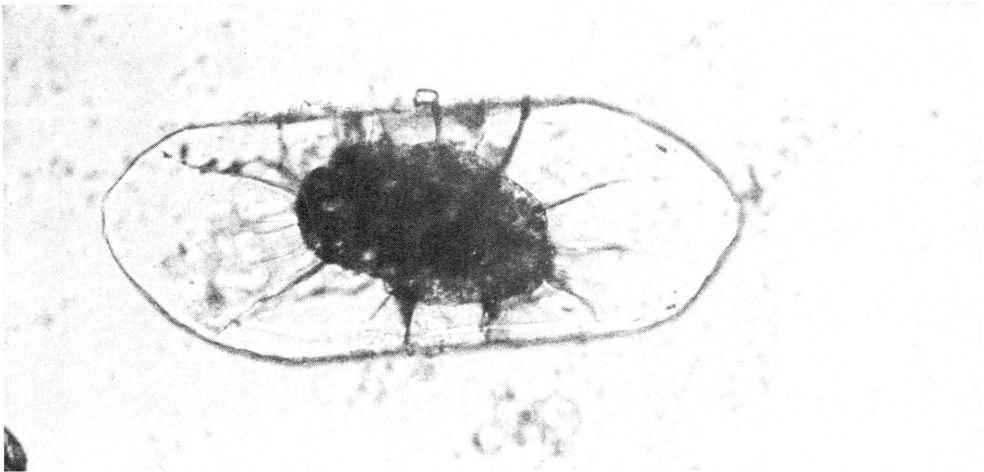


Abb. 9:

Ebenfalls ein gebrochener, getrübter (metamiktisiert: Risse der Aussenhülle!) Kern. Dieser Kern weist einen Ansatz zur (101)-Fläche auf und enthält zusätzlich einen oval gerundeten "Innenkern", gleichfalls stark getrübte, der aus der Bruchfläche herausragt. Diesem Zirkon fehlt wieder das System der idiomorphen Kernhüllen. Die klare Aussenhülle ist zwar gerundet, läßt aber noch die ehemaligen (101)-Flächen erkennen. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

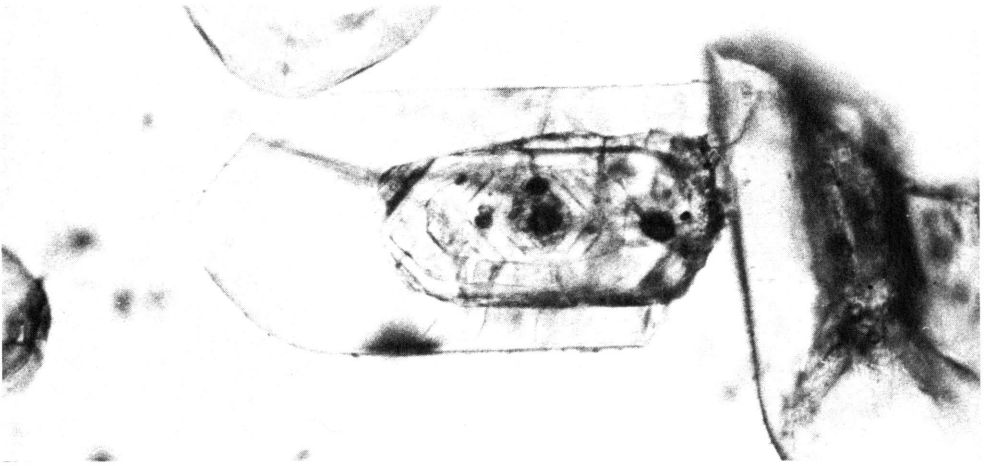


Abb. 10:

Ein kleiner, etwas getrübler Kern ist vom gut entwickelten System der (101)-idiomorphen Kernhüllen umgeben. Darin sichtbar grobblasige Einschlüsse, welche auf rasches Wachstum der Kernhüllen hinweisen. Die klare Aussenhülle ist zwar gerundet, lässt aber noch gut die (101)-Flächen erkennen. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

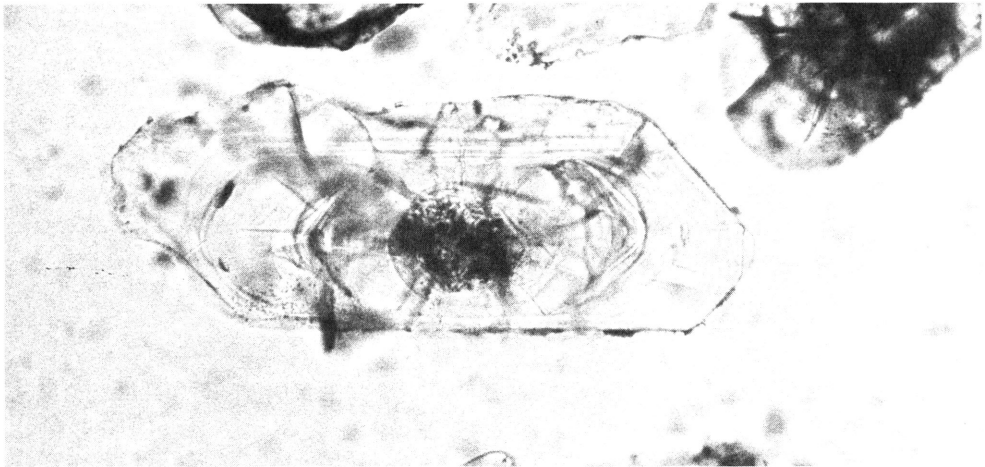


Abb. 11:

Der kleine, trübe Kern ist von (101)-Flächen terminiert. Das gut entwickelte System der (101)-Kernhüllen zeigt mindestens zwei gerundete bzw. abgelöste Kernhüllenzonen (einmal in unmittelbarer Kernnähe, dann ca. zu Beginn des äusseren Drittels), was stark wechselnde Wachstumsbedingungen zur Zeit der Kernhüllenbildung aufzeigt. Die Aussenhülle ist wieder klar, rissig und endet auf einer Seite noch mit den (101)-Pyramidenflächen. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.



Abb. 12:
Ein kleiner, trüber Kern liegt im gut entwickelten System der (101)-Kernhüllen. Die klare Aussenhülle ist stark rissig, obwohl Kern und Kernhüllen sehr wenig "Metamiktisierung" aufweisen. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

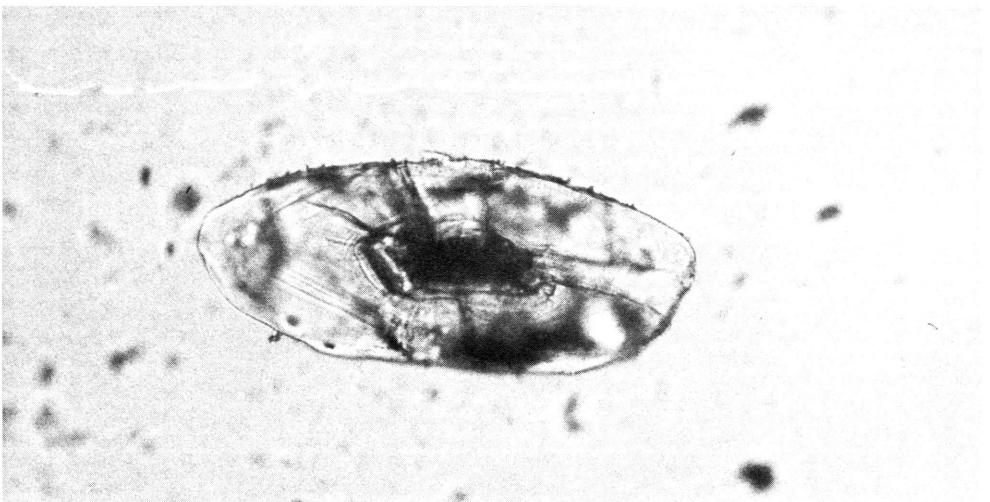


Abb. 13:
Das innere System aus Kern und Kernhülle ist gebrochen. Als große Seltenheit zeigt dieser Kristall Zonierung mit (211)-Pyramidenflächen. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

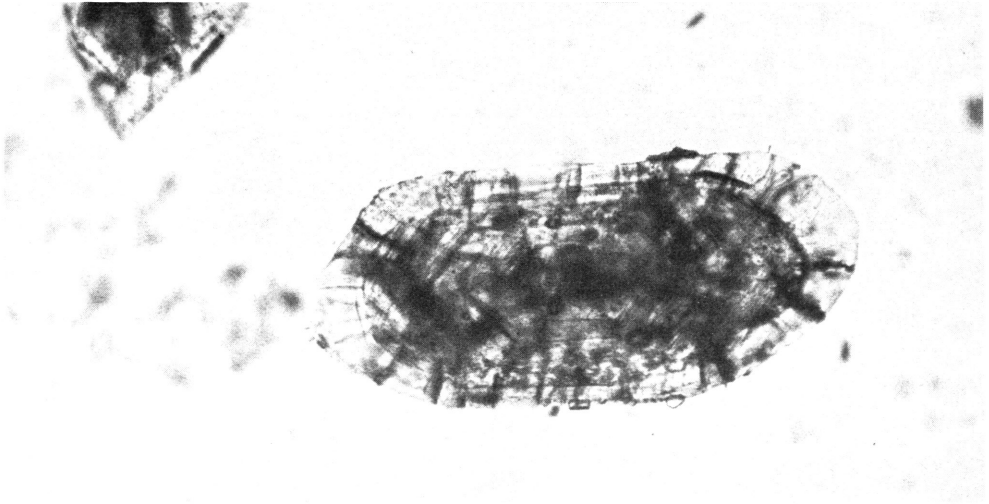


Abb. 14:

Ein reich entwickeltes, an den Prismenflächen beschädigtes System der (101)-Kernhüllen mit grobblasigen Einschlüssen in klarer, stark rissiger Aussenhülle. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

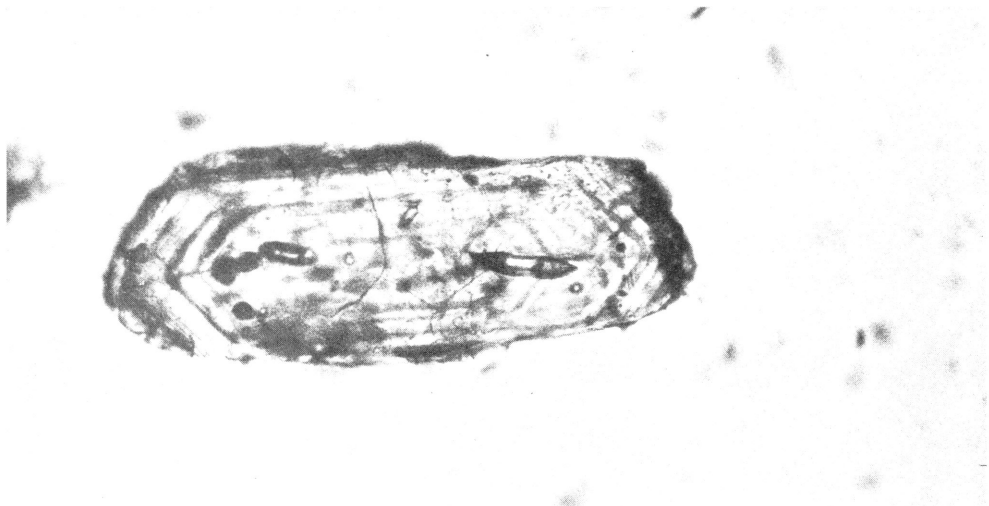


Abb. 15:

Diesem Zirkon fehlt der Kern. Im gut entwickelten System der (101)-Kernhüllen neben anderen Einschlüssen zwei Zweiphaseneinschlüsse erkennbar. Nur ansatzweise entwickelt bzw. rudimentär erhalten ist die Aussenhülle. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

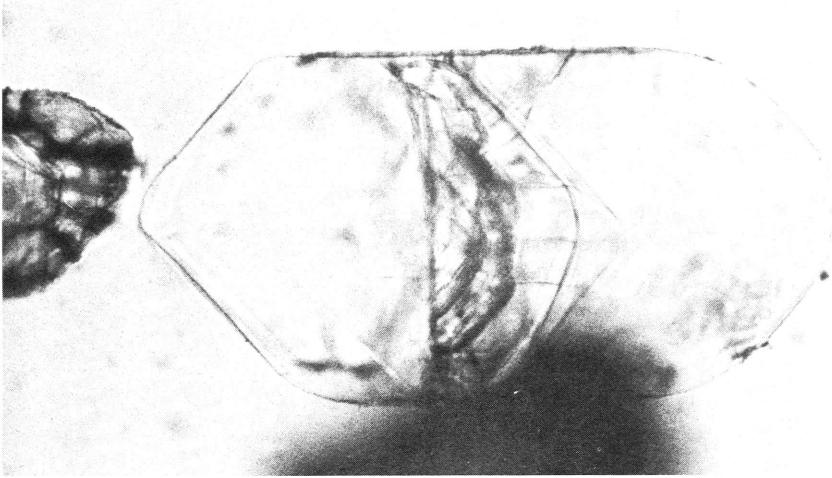


Abb. 16:

In der klaren (101)-Aussenhülle ist nur ein Bruchstück der Kernhüllen enthalten. Darin sind zwei Zonen enthalten, deren Gestalt Materialabfuhr anzeigt: die gerundete zweitäusserste (Lösung) und die möglicherweise mechanisch angegriffene darunterliegende Zone. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

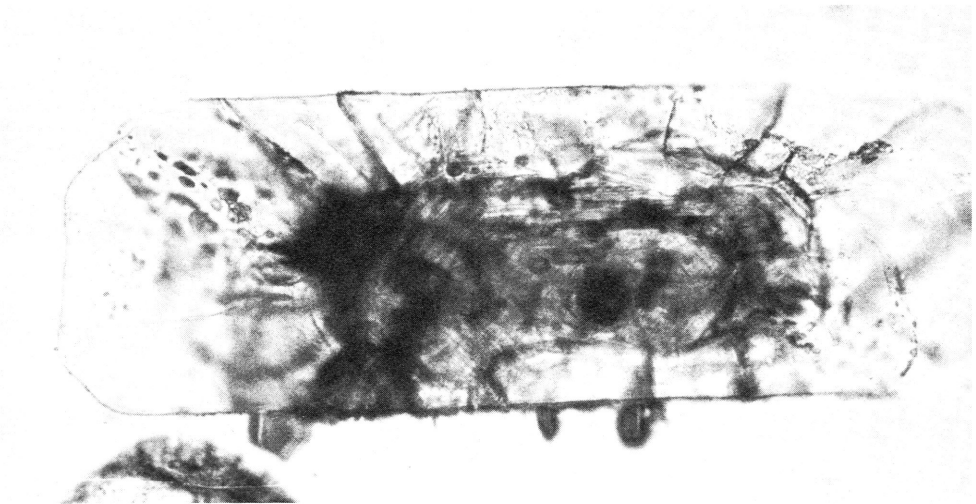


Abb. 17

Das gut entwickelte System der (101)-Kernhüllen führt zahlreiche Blasen und Einschlüsse und ist von mehreren konkaven Bruchstellen beschädigt. Die klare Aussenhülle mit (101) ist stark rissig. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.



Abb. 18:

Der Kern fehlt, die Phase der Kernhüllen ist wenig zoniert aber von zahlreichen Einschlüssen durchsetzt. Die klare, rissige Aussenhülle ist dünn entwickelt und endet mit (101) und (211)-Pyramidenflächen. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

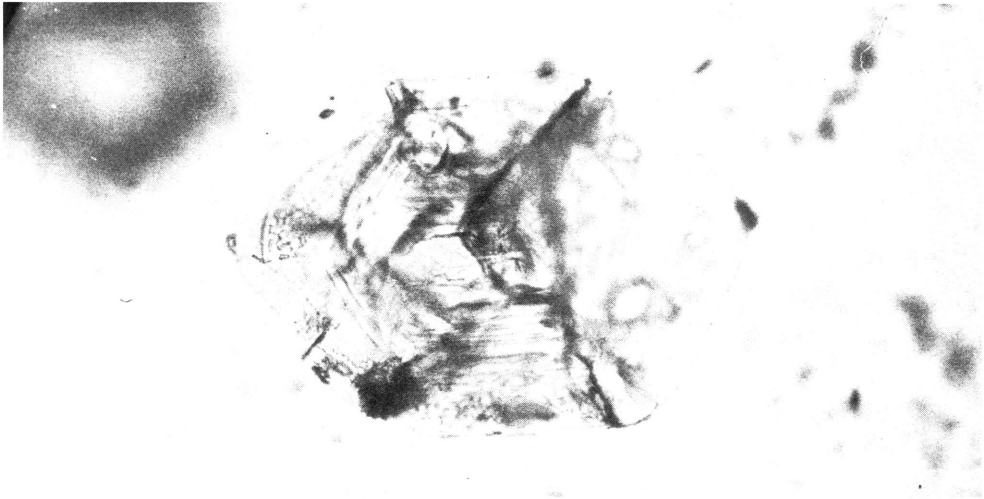


Abb. 19:

Das System der Kernhüllen ist gebrochen und steckt in der üblichen, klaren (101)-Aussenhülle. Länge der Bildunterkante = 0,45 mm.

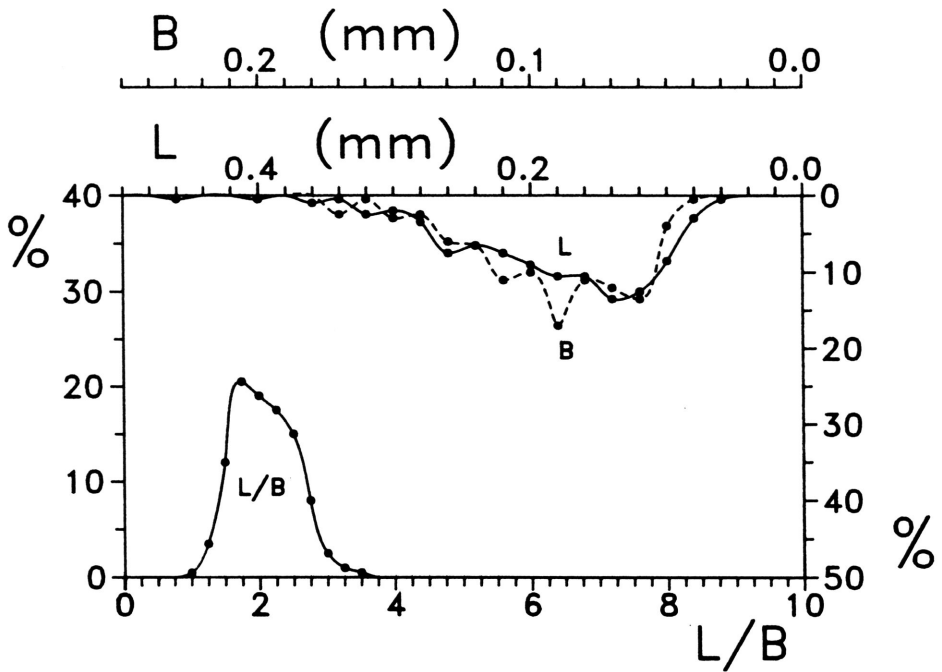


Abb. 20:

Das Längen/Breiten/Größen-Diagramm:

Auf der unteren Horizontalachse ist die Elongation der Zirkone gegen die links vertikal skalierte Häufigkeit angetragen.

Die beiden oberen Horizontalachsen geben die gemessenen Längen- und Breiten gegen die rechts vertikal abwärts skalierte Häufigkeit an.

oder Flüssig/Fest offen bleibt (Abb. 15). Daß die Kristallisationsbedingungen deutlichen schwankten, zeigen die aufgefundenen wieder angelösten Zonen (Abb. 11 & 16) im System der Kernhüllen.

3. Die Kernhüllen sind häufig mechanisch beschädigt. Dies kann durch sedimentäre Erosion oder durch vulkanischen Ausbruch des Magmas geschehen. Beschädigung durch Konvektionsbewegungen in der Magmenkammer scheidet aus, weil dann unter den Bedingungen der Magmenkammer weitere Zonen des Typs "Kernhüllen" die Bruchflächen zumindest teilweise hätten verheilen müssen. Erosion mit anschließender Resedimentation ist wenig wahrscheinlich, weil die Bruchflächen nicht einmal ansatzweise verrundet sind.

4. Die klaren, einschlußfreien Aussenhüllen sind unzoniert gewachsen. Derartige Wachstumsbereiche sind auf langsame, ungestörte Kristallisation zurückzuführen. Solche Zustandsbedingungen können bei hochgradiger Metamorphose oder Anatexis gegeben sein. Dagegen sprechen aber zwei Sachverhalte: Zum einen haben Lösungserscheinungen viele Kristalle gerundet (Abb. 6). Diese Lösungsvorgänge können nur unter den Bedingungen höhergradiger Metamorphose stattgefunden haben. Genau diese höhergradige Metamorphose hat aber laut vorstehender Hypothese die Aussenhülle gebildet (Materialzufuhr!). Zum anderen sprechen im PUPIN-Diagramm dargestellte morphologische Erscheinungen der Kristalle dagegen, welche der Aussenhülle dieser Zirkonpopulation Genesetemperaturen von über 800° C zuschreiben. Aber die Regionalmetamorphose hat maximal 690° +/- 50° C erreicht (BLÜMEL 1983). Weiterhin zeigt das Gestein keine anatektischen Erscheinungen, obwohl es aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung für die Anatexis prädestiniert ist.

Die Morphologie der Zirkone und ihr Innenbau zeichnen die mehrphasige Kristallisationsgeschichte nach, ohne daß diese bis jetzt in die geologische Entwicklungsgeschichte eingepaßt werden kann, da unter anderem radiometrische Altersbestimmungen noch fehlen. Weitere Untersuchungen, wie die Auswertung nichtmetamorpher Vulkanitzirkone, sind notwendig und werden zur Zeit durchgeführt.

LITERATURVERZEICHNIS

Für zahlreiche Literaturhinweise sind wir Herrn Dr. Streit (GLA) zu Dank verpflichtet.

- BLÜMEL, P (1983): Statusbericht zum kontinentalen Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland - Zielgebiet Oberpfalz, S. 67, in Franke, W. & Weber, K., unveröff.
- CARUBA, R. & TURCO, G. (1971): Mise au point sur la notation des faces du zircon. Élaboration d'une méthode d'indexation rapide des faces des zircons accessoires des roches par utilisation d'abaques.- Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr., 94, 427-436, Paris.
- COGNÉ J. & v. ELLER J.-P. (1961): Défense et illustration des termes Leptynite et Granulite en pétrographie des roches métamorphiques.- Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., t. 14, fasc. 2, pp. 59-64, Strasbourg, 1961.
- FRASL, G. (1963): Die mikroskopische Untersuchung der akzessorischen Zirkone als eine Routinearbeit des Kristallingeologen.- Jb. Geol. B.-A., 106, 405-428, Wien.
- GÜMBEL, C.W.v. (1868): Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges oder des Bayerischen und Oberpfälzer Waldgebirges.- 968 S., Gotha 1868.
- HAÜY, M. (1822): Traité de Minéralogie, seconde édition, Paris 1822.
- KLEBER, W. (1977): Einführung in die Kristallographie.- 13., stark überarbeitete Auflage, 392 S., VEB Verlag Technik Berlin 1977.
- PUPIN, J.-P. & TURCO, G. (1972a): Le zircon accessoire en géothermométrie.- C. R. Akad. Sci. Paris, ser. D, 274, 2121-2124, Paris.
- PUPIN, J.-P. & TURCO, G. (1972b): Une typologie original du zircon accessoire.- Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr., 95, 348-359, Paris.
- PUPIN, J.-P. & TURCO, G. (1974): Application à quelques roches endogènes du massif franco-italien de l'Argentera-Mercantour, d'une typologie originale du zircon.- Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr., 97, 59-69.
- PUPIN, J.-P. & TURCO, G. (1975): Typologie du zircon accessoire dans les roches plutoniques dioritiques, granitiques et syénitiques. Facteurs essentiels déterminant les variations typologiques.- Pétrologie, 1, H. 2, 139-156.
- PUPIN, J.-P. (1980): Zircon and granite petrology.- Contr. Min. Petr., 73, 207-220, Heidelberg.
- PUPIN, J.-P. & TURCO, G. (1981): Le zircon, minéral commun significatif des roches endogènes et exogènes.- Bull. Minéral., 104, 724-731.
- PUPIN, J.-P. (1985): Magmatic zoning of Hercynian granitoids in France based on Zircon typology.- S. M. P. M., 65, 29-56, Zürich.
- STRECKEISEN, A. (1967): Classification and Nomenclature of Igneous Rocks (Final Report of an Inquiry).- N. Jb. Miner., Abh., 107, 2, 144-214, Stuttgart.
- THORNTON C.P. & TUTTLE O.F. (1960): Chemistry of Igneous Rocks, 1. Differentiationsindex.- Amer. J. Sci. 258, 664-684.

