

Die mikroskopische Untersuchung der akzessorischen Zirkone als eine Routinearbeit des Kristallingeologen

Von GÜNTHER FRASL *)

Mit 8 Abbildungen

Zusammenfassung

Streupräparate von akzessorischem Zirkon bieten viele Vorteile gegenüber Dünnschliffen. Zahlreiche morphologische Erscheinungen werden dabei sichtbar, die bei der Lösung von petrogenetischen, geologischen und bodenkundlichen Fragen viel helfen können. Um diese Vorteile einem breiteren Kreis von Kristallingeologen zugänglich zu machen, wird hier u. a. ein einfacher Weg für die Gewinnung der Zirkonkonzentrate vorgeschlagen. Bei der Einführung in die Trachtuntersuchung und bei anderen Arbeitshinweisen sind immer wieder Beispiele aus dem alpinen und außeralpinen Kristallinbereich Österreichs angeführt.

Summary

Mounts of accessory zircon grains out of granites and related rocks have many preferences against thin sections. In the first ones many morphological details are easily to be seen, which are very helpful in resolving petrogenetical, geological and pedological questions. It was the aim of this study to get these preferences accessible to a greater number of crystalline-geologists. At first a simple way is shown how to gain enrichments of zircon. At the following introduction to the morphological study and especially the habit of zircon numerous examples from the Austrian parts of the alpine and the bohemian crystalline complex are quoted.

Für den Kristallingeologen ist es heute eine Selbstverständlichkeit, daß er seine Gesteine in Dünnschliffen mikroskopisch untersucht; und es ist bereits ebenso selbstverständlich, daß er danach nicht bloß angibt, ob ein Gestein überhaupt Feldspat enthält, sondern daß er aus dieser

*) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. G. FRASL, Hochschule für Bodenkultur, Wien XVIII.

Mineralgruppe viel mehr herausholt zum Zwecke der Klassifikation und der petrogenetischen Ableitung des Gesteins.

Während er also beim Feldspat schon längst gewohnt ist, auf eine große Anzahl von oft minutiösen und doch vielsagenden Details zu achten und sich die dafür notwendigen Beobachtungstechniken — z. B. auch die Arbeit mit dem Universal-Drehtisch — angeeignet hat, werden andere Mineralien wie der akzessorische Zirkon in den meisten Fällen noch immer bloß registriert, oder wenn man auch beim Zirkon genau sein will, begnügt man sich mit Größenangaben und dem Hinweis, daß er in manchen anschließenden Mineralien pleochroitische Höfe erzeugt.

Gewiß bleibt der Zirkon meist weit unter 1 mm Größe und ist daher im Schliß schlechter beobachtbar, so daß er sogar recht häufig nicht einmal vom Monazit und Xenotym unterschieden wird. Es ist aber — wie hier u. a. gezeigt werden soll — ganz einfach, die Zirkone aus dem Gestein herauszulösen, anzureichern und dann im Streupräparat viel genauer zu untersuchen. Dieser kleine Schritt über die Grenzen der gewohnten Dünnschliffmikroskopie hinaus in den dem Kristallingeologen heute noch selten vertrauten Bereich der Schwermineralanalyse bringt aber bereits so große Vorteile, daß diese Betrachtungsweise gewiß schon in absehbarer Zeit vom Reservat einiger Spezialisten zum Allgemeingut der Kristallingeologen wird.

Die besondere Eignung des Zirkons für die Lösung allgemein geologischer und besonders petrogenetischer Fragestellungen ist nicht nur in der besonderen Stabilität des Minerals begründet. Jeder, der einmal Erfahrungen in der mineralogenetischen und petrogenetischen Deutung der vielfältigen Unterschiede zwischen Feldspat und Feldspat gesammelt hat, wird ebenso bei den Zirkonen im Streupräparat eine ganze Reihe von unterschiedlichen Eigenschaften finden, die auf deren Entstehungsbedingungen und auch Entstehungsgeschichte rückschließen lassen. Eine ganz ausgezeichnete und fast alles beinhaltende Übersicht über den heutigen Stand unseres Wissens auf diesem Gebiet ist soeben unter dem Titel „Die Verwendbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen“ erschienen (G. HOPPE 1963). Deshalb sollen hier zur Einführung für die Geologen nur in Kürze einige Grundlagen zusammengestellt, und diese auf Grund mehrjähriger eigener Erfahrung in einigen Hinsichten durch Arbeitsanleitungen und durch Beispiele aus dem österreichischen Raum ergänzt werden.

Zu den Eigenschaften des Zirkons, welche die Entstehungsbedingungen widerspiegeln, gehören insbesondere die äußere Gestalt, die von rundlich und z. T. unregelmäßig-xenomorph zu den verschiedensten idiomorphen Trachtausbildungen variieren kann und dann jeweils recht konsequent an bestimmte Gesteinstypen gebunden ist. Dazu gehören auch verschiedene Erscheinungen des Zonarbaues — auch mit Rekurrenzen wie beim Feldspat — sowie die manchmal unregelmäßige, manchmal aber doch auffallend regelmäßige Anordnung von bestimmten kristallinen oder flüssig-gasförmigen Einschlüssen, also Erscheinungen, die wir von den Feldspaten her als petrogenetische Anzeiger sehr schätzen gelernt haben. Eigentümliche Wachstumsstörungen und orientierte Verwachsungen sind jeweils leicht zu erkennen, während z. B. Unterschiede in der Lichtbrechung und

Doppelbrechung aus methodischen Gründen meist nur sehr ungenau erfaßt werden können, aber doch oft auffallend und dann genetisch bezeichnend sind.

Die in den meisten Fällen außerordentliche Stabilität des Minerals gegenüber physikalischen und chemischen Einflüssen ist aber doch wohl die wertvollste Eigenschaft, die den Zirkon zu einem für die Forschung besonders interessanten Mineral macht. Meist erhalten sich Zirkone auch bei ganz starker Verwitterung — sogar auf Kaolinlagerstätten — ausgezeichnet und sie haben mir damit bei meinen Kristallinkartierungen im teilweise flachen und einer alten intensiven Verwitterung ausgesetzten österreichischen Anteil an der Böhmisches Masse viele wertvolle Anhaltspunkte für die nähere Zuordnung von tiefgründig völlig zersetzten granitischen oder gneisartigen Gesteinen gegeben. Dieselbe Möglichkeit besteht auch bei den noch immer Seltenheitswert besitzenden Kristallinproben aus der Tiefe von Erdölbohrungen, die oft so stark zersetzt sind, daß die Feldspate für die nähere Diagnose mehr oder minder ausfallen. Des weiteren schließen sich da auch die Interessen der Bodenkundler an, die auf Grund der Zirkone und anderen Schwerminerale nicht nur einen Hinweis bekommen, ob an einer Stelle der Boden das reine Verwitterungsprodukt des darunterliegenden Kristallins oder Sandsteins usw. ist — mit all den daraus abgeleiteten Konsequenzen — oder ob seinem Mineralbestand ein wesentlicher Fremdanteil beigemischt ist. Auf Grund der relativen Anreicherung von Zirkon infolge der Verwitterungsauslese haben die Bodenkundler darüber hinaus im Falle einer reinen in situ-Verwitterung auch noch einen Maßstab für die Intensität dieser Verwitterung in den einzelnen Bodenhorizonten, da sich der Zirkon bei zunehmender Verwitterung relativ anreichert. Er wird somit zum Indexmineral (MARSHALL und HASEMAN 1942), u. zw. sogar in jenen extremen Bodentypen, in denen auch der Zirkon und auch Quarz noch zu einem gewissen Teil aufgelöst werden (R. BREWER 1955, RANKAMA und SAHAMA 1950).

Die große Verwitterungsbeständigkeit des Zirkons dient aber auch der Sedimentpetrographie. Um nur ein kleines Beispiel aus unserem näheren Bereich zu erwähnen: es ist auf Grund der Morphologie der Zirkone in der Gegend von Linz gut zu unterscheiden, ob die tertiären Sande in dem einen Falle hauptsächlich aus der Aufarbeitung eines Perlgneises oder in dem anderen Falle eines Granits etwa vom Typus Mauthausen oder Weinsberg abzuleiten sind.

Schließlich wäre noch die Bestimmung des absoluten Alters zu nennen, die sich u. a. auch der Zirkone bedient. Gegenüber den meist viel leichter durch die Verwitterung beeinflussbaren Biotiten, aber auch Muskowiten und Feldspaten, bei denen sich dann das altersbedingte K/Ar- und Rb/Sr-Verhältnis durch die chemischen Veränderungen in ungünstiger Weise verschoben hat, können auch hier Zirkone den Vorteil der chemischen Beständigkeit haben. So stimmt z. B. das Alter von ungefähr 450 Millionen Jahren bei den Zirkonen zweier Proben aus dem Elberton-Granit (USA) innerhalb der Fehlergrenzen überein, obwohl die einen Zirkone aus einem frischen Gestein gewonnen wurden, die anderen aber aus einem als „saprolite“ bezeichneten B-Horizont eines Verwitterungsprofils (M. GRÜNENFELDER und L. T. SILVER 1961).

Aber nicht nur gegenüber der Verwitterung sind die Zirkone im allgemeinen besonders widerstandsfähig¹⁾, sie sind auch bei metamorphen Vorgängen und sogar bei der Aufschmelzung von Gesteinen verwunderlich haltbar, besonders wenn man ihre Kleinheit bedenkt.

Ich habe vergleichsweise seit Jahren bei den großen Kalifeldspaten in Graniten und Gneisen speziell nach Relikten aus den früheren Stadien der mehrphasigen Gesteinswerdung nachgespürt (G. FRASL 1954) und dabei gesehen, wie die als relativ beständige Kornsorten bekannten, oft etliche Zentimeter großen Kalifeldspate schon in der Epi- und Mesozone mehr oder minder randlich oder bis zum Zentrum verändert und auch verdrängt werden. Umso mehr bewundere ich die Widerstandsfähigkeit der nur hundertstel oder zehntel Millimeter großen Zirkonkristalle, die all das, und sogar die Wiederaufschmelzung von Gesteinen sehr gut²⁾ überstehen. Solche Zirkone werden also als Altbestand mit den für die früheren Bildungsbedingungen z. T. sehr bezeichnenden Eigenheiten übernommen. Ein mehr oder minder großer Anteil von diesen alten Zirkonen wird die Kerne für Überwachungen bilden, wobei die außen angesetzte neue und oft wesentlich anders geartete und gestaltete Zirkonsubstanz für die Wachstumsbedingungen in der neuen Gesteinsart kennzeichnend ist. Oft sind die alten Zirkonkerne sogar die einzigen, letzten Zeugen für das Ausgangsmaterial einer größeren Aufschmelzungsmasse von etwa granitischer Zusammensetzung, oder sie geben in anderen Fällen Hinweise auf die Stärke der speziellen, lokalen Verunreinigung einer Schmelze, und von beiden Möglichkeiten konnte ich für das Verstehen der Entstehung verschiedener granitischer Stöcke und Gänge besonders bei der Kartierung bei Linz an der Donau öfters Nutzen ziehen. Aber auch z. B. im Sauwald, der sich südlich der Donau bis Schärding am Inn erstreckt, ließen sich die Ergebnisse der geologischen Kartierung von O. THIELE (1962) mit meinen parallel laufenden Zirkonstudien und insbesondere mit den Beobachtungen über das oft massenhafte Auftreten von bestimmten Zirkonrelikten zu einer besser abgesicherten Vorstellung über die genetischen Zusammenhänge bei den dortigen Arten von granitoiden Gesteinen verbinden.

Gerade darin liegt also ein besonderer Vorteil der Zirkonstudien, daß diese Rückschlüsse auf die Vergangenheit sogar in hochmetamorphen und ultrametamorphen Gesteinen möglich sind. Das gilt auch bei solchen feinerkörnigen granitischen Gesteinen, in denen oft alle anderen die Entstehungsbedingungen kennzeichnenden Mineralien dem letzten prägenden Akt angepaßt wurden, sei es nun z. B. durch eine spätere metamorphe Wiederaufwärmung oder aber eine Endometasomatose.

¹⁾ Gewiß finden sich seit langem in der Literatur genügend Hinweise darauf, daß es auch instabile Zirkone gibt, die z. B. dann eine geringere Dichte haben und auch optisch isotrop werden können. Aber uns interessieren in erster Linie die immer wieder in unseren Gesteinen und Verwitterungsböden auftretenden praktisch stabilen Zirkone, da wir aus diesen derzeit bei der mikroskopischen Untersuchung mehr ablesen können. Im übrigen spielt speziell im mitteleuropäischen Klimabereich die rezente Verwitterung bei der Masse der Zirkone keine irgendwie bemerkenswerte Rolle, so daß Verwitterungserscheinungen bei den bisherigen mikroskopisch-petrogenetischen Zirkonuntersuchungen nie gestört haben. Nur die Zerfallsaltersbestimmung von U/Pb könnte durch eine Veränderung solcher leichter angreifbarer Abarten empfindlich beeinträchtigt werden.

²⁾ Bezüglich der Trübung mancher Zirkone infolge einer Metamorphose siehe S. 425 f.

Die mehrphasige Entstehung der kernführenden Zirkone, die von POLDERVAART und ECKELMANN 1955 zuerst beschrieben wurde, ist nun von G. HOPPE in zahlreichen Beispielen erläutert worden (mit Zusammenfassung früherer Ergebnisse und ausführlicher Literaturzusammenstellung in G. HOPPE 1963). Ich kann seine diesbezüglichen Schlüsse auf Grund eigener Erfahrungen, die ich aus sehr zahlreichen, oft in Zusammenhang mit der eigenen Kartierung stehenden Proben aus dem österreichischen Anteil der Böhmisches Masse, aber auch aus Gesteinen der Zentralalpen und Vergleichsproben der Periadriatika gewonnen habe ¹⁾, voll und ganz bestätigen und möchte noch besonders auf seine vielen instruktiven Photos hinweisen.

Wenden wir uns nun speziell der Präparation und den Trachtstudien zu, da in beiden Hinsichten gewisse praktische Hinweise die Anwendbarkeit der Zirkonstudien für den Kristallingeologen erleichtern können. Für ihn kann und soll der Zirkon zu einem Testmineral werden, denn erfahrungsgemäß bewährt er sich in dieser Weise auch wirklich bei der Beantwortung der verschiedensten im Zuge der Kartierung auftretenden Fragen.

Zur Gewinnung der Zirkon-Streupräparate

Es wird hier mit Rücksicht auf solche Geologen, die kein besser eingerichtetes Labor zur Verfügung haben und z. T. auch wenig Labor-Erfahrung besitzen, bewußt eine besonders einfache Gewinnungsmethode mit Benutzung der bescheidensten Einrichtung vorgeschlagen, die sich aber doch als völlig zureichend für die Zwecke des Kristallingeologen erwiesen hat. Daß man demgegenüber die Schnelligkeit der Gewinnung je nach den zur Verfügung stehenden besseren Einrichtungen steigern kann, ist ebenso klar, wie andererseits höhere Ansprüche z. B. auf eine verlustlose Gewinnung und restlose Trennung von anderen Mineralien eine kompliziertere Methode notwendig machen (vgl. z. B. G. HOPPE 1963, S. 6).

Im allgemeinen genügt bei Graniten, Gneisen und verwandten, relativ zirkonreicheren Gesteinen ein Stück oder mehrere Gesteinssplitter von etwa 50 bis 100 g Gewicht als Ausgangsmaterial für unsere Untersuchung. An die Frische des Gesteins werden dabei keine Ansprüche gestellt, ja es genügt sogar eine ebenso schwere Probe von in situ vergrustem Material ²⁾ desselben Gesteins; darin liegt schon ein großer Vorteil der Untersuchung gerade des Zirkons. Je mürber die Probe ist, desto leichter kann sie nach dem Abwaschen oder nur Abkratzen und Abbürsten von eventuell anhaftenden Lehmresten in einem Mörser oder in einer etwa 2 cm dicken Reibschale zerstoßen werden. Beim Stoßen bleiben die Kanten des Zirkonkristalls begreiflicherweise besser erhalten, als wenn man zu viel reibt.

¹⁾ Die Ergebnisse meiner Zirkonuntersuchungen sind zwar seit ein paar Jahren in Vorträge und Referate in Wien eingebaut worden; gedruckt wurde bisher nur ein kurzer Hinweis auf Trachtstudien an einigen wichtigen granitischen Gesteinen der Böhmisches Masse (G. FRASL 1959).

²⁾ Bei grusigem Material ist jedoch sehr darauf zu achten, daß nicht in Wirklichkeit nur wenig verlagerte Kristallinsande vorliegen, denen auch fremde Zirkone beigemischt sein können.

Die Zerkleinerung sollte aus demselben Grund auch nicht zu weit getrieben werden, es genügt im Regelfall, wenn die größeren Feldspat- und Quarzkörnchen nur mehr etwa 1—2 mm Durchmesser haben.

Nun wird mit Leitungswasser aus einer Spritzflasche aufgeschlämmt. Ist die Aufschlämmung sehr trübe (bei sehr starker Verwitterung), dann wird die Probe in eine Abdampfschale von etwa 20 cm Durchmesser und 5 cm Höhe gespült und dort mehrmals nach einem ruhigen Absitzenlassen von etwa einer halben Minute (bei feinkörnigen Gesteinen besser etwas später) dekantiert. War wenig oder keine Trübe vorhanden, kann man alles Zerriebene gleich in einen Erlenmeyer-Kolben (etwa 500 cm³ Inhalt und mit eingeschlifftem Glasstoppel) einbringen und das Wasser langsam, d. h. ohne wesentliche Mineralverluste, abgießen.

Nun kommt die bei der vereinfachten Zirkongewinnung meistens sehr förderliche Salzsäurebehandlung. Dabei werden die Zirkone unter besserer Schonung der Kristallform besonders aus dem Biotit heraus gewonnen, als durch feinstes Zerreiben der Probe. Manchmal, besonders bei stärkerer Verwitterung und Aufblätterung des Biotits bekommt man sie auch ohne längere Salzsäurebehandlung heraus, doch wird man gerade dann die limonitische Verfärbung der Oberfläche und der Sprünge der Zirkone rasch durch Salzsäure oder Oxalsäure entfernen wollen.

Im Normalfall versetzt man also die zerriebene, feuchte Probe am einfachsten mit etwa 150—200 cm³ technischer Salzsäure, rührt kurz um und läßt den Kolben ein bis drei Tage bei normaler Zimmertemperatur stehen, so daß man sich das Kochen erspart. Nach dieser Zeit wird man erkennen, daß i. a. ein Teil der Biotite in dünne weiße Schüppchen zerfallen ist, und dann sind im allgemeinen schon genügend Zirkone für unsere Zwecke frei geworden. Die Salzsäure wird dann aus der zerriebenen Probe in einer Abdampfschale mittels Leitungswasser mehrmals ausgewaschen. Dabei soll die Aufschlämmung vor dem Dekantieren mindestens eine Minute absitzen, damit auch kleine Zirkone in genügender Menge gewonnen werden. Nach dem Trocknen im Trockenschrank bei 105 °C oder über einer schwachen Gasflamme folgt die trockene Siebung. Ich habe die beste Erfahrung mit dem Maschensieb mit 0.2 mm Maschenabstand gemacht. Es läßt sich einerseits gegenüber den feineren Sieben noch verhältnismäßig sehr leicht reinigen, so daß praktisch nie eine Probenverunreinigung durch das Sieben vorgekommen ist. Andererseits läßt es auch die dicksten normalerweise zu erwartenden akzessorischen Zirkone immer noch durch; nur in Proben, in welchen dann u. d. M. viele Zirkone einer Dicke von 0.2 mm nahekommen, müßte ein noch gröberes Sieb genommen werden, also sollte die Fraktion über 0.2 mm nicht zu früh weggeworfen werden.

Die Siebfraction unter 0.2 mm kommt nun zur Schwereretrennung. Als ganz einfache Einrichtung dafür genügt z. B. ein steilwandiger Glasrichter mit etwa 50 mm oberem und 8 mm unterem Durchmesser sowie etwa 120 mm Höhe, der unten einen Gummischlauch von etwa 100 mm Länge samt einem Quetschhahn angeschlossen hat. Unter solchen Trichtern bringt man gewöhnliche Trichter mit Rundfiltern und darunter endlich die Auffangflaschen an. In der einen solchen Flasche wird die durch Abfiltern rückgewonnene reine Schwereflüssigkeit aufgefangen, in der anderen daraufhin die Waschflüssigkeit.

Als Schwerkflüssigkeit hat sich Acetylentetrabromid ($D = 2.97$) bewährt, dessen Reste durch reinen Alkohol aus den Proben leicht ausgewaschen werden können. Die so gewonnene Waschflüssigkeit wird in einem großen Scheidetrichter mit genügend Leitungswasser versetzt, wobei sich Wasser und Alkohol verbinden und die Schwerkflüssigkeit weitestgehend wieder rückgewonnen wird (nähere Angaben und weitere Möglichkeiten der Schwereretrennung siehe z. B. bei KRUMBEIN und PETTJOHN 1938).

In den steilwandigen obersten Trichter, der mit Acetylentetrabromid gefüllt ist, kommen nun etwa 5—10 g der gesiebten Probe. Es wird mit einem Glasstab umgerührt und stehen gelassen, dann mehrmals wieder aufgerührt, am besten ohne starke Wirbelbildung mit vorsichtiger, schraubenförmig nach unten vordringender Bewegung, damit womöglich die auf der Steilwand des Gefäßes liegenden winzigen Schwermineralien sich ansammeln und als solche Ansammlung rascher zu Boden sinken. Je kleinere Zirkone man noch gewinnen will, z. B. aus Feinkorngraniten wie unserem Schremser Granit, desto länger muß man absetzen lassen, und desto sorgfältiger sollte man die Schwermineralien von den unteren Wänden des Trichters abstreifen.

Der zu Boden gesunkene schwere Anteil wird nun beim Quetschhahn abgelassen, im Filter nach dem Abtropfen der Schwerkflüssigkeit mehrmals mit Alkohol ausgewaschen und schließlich getrocknet.

Im so erhaltenen Schwermineralauszug sind gewisse andere Schwermineralien bereits durch die Säurebehandlung dezimiert. Bei sauren Gesteinen aus dem österreichischen Anteil der Böhmisches Masse erwies sich bisher eine weitere relative Anreicherung des Zirkons z. B. durch die Entfernung der magnetischen Mineralien mittels eines starken Elektromagneten als der weiteren Untersuchung zwar förderlich, aber sie war für die Fragen des Kartierers nicht notwendig. In den Alpen wird man jedoch selbst bei den granitischen Gesteinen meist nicht ohne weitere Anreicherung auskommen, weil da durch die Feldspatfüllung und ähnliche sekundäre Prozesse größere Massen von kleinen Schwermineralien der Epidotgruppe, Titanite usw. entstanden sind, die gegenüber dem Zirkon dann zahlenmäßig zu stark überwiegen.

Zur mikroskopischen Untersuchung

Die anschließende mikroskopische Untersuchung ist zwar bis zu einem gewissen Grad auch ohne Einbettung möglich, jedoch ist die Einbettung in einer Flüssigkeit (z. B. Methylenjodid mit $n = 1.739$ zur Unterscheidung gegenüber Xenotym) oder besonders die Herstellung von Dauerpräparaten z. B. mit Piperin ($n = 1.682$) oder auch Caedax ($n = 1.56$) oder in Form von Gelatinepräparaten nach MARSHALL und JEFFRIES (1945) dem vorzuziehen.

Als Beleuchtung wird das schräge Auflicht nur selten benutzt, z. B. wenn man die Tracht bei der als Malakon bezeichneten undurchsichtigen Abart des Zirkons erkennen will, oder um sonst Einzelheiten der Oberflächenbeschaffenheit zu sehen.

Meist jedoch wählt man einfach polarisiertes Durchlicht. Dabei sind sehr geringe Lichtbrechungsunterschiede innerhalb des Kristalls beim Zonarbau oder bei der Abgrenzung von älteren Kernen am ehesten noch erfaßbar, wenn der Kristall mit der Hauptachse (c -Achse = $n_i = n_E$) parallel zur Schwingungsrichtung im Polarisator liegt (G. HOPPE 1963). Neben der Betrachtung im möglichst parallelen Durchlicht wird es besonders bei Einbettungsmitteln mit niedriger Lichtbrechung ganz günstig sein, die wegen der starken Innenreflexe oft dunkel erscheinenden Kristalle mit konvergentem Licht aufzuhellen, um die Kerne und Einschlüsse besser zu erkennen. Überhaupt ist es bei einem Zirkon-Streupräparat viel wichtiger als etwa bei den Hauptgemengteilen in einem Granit-Dünnschliff, daß man die Beleuchtung öfters etwas verändert und besonders sorgfältig dem manchmal von Zirkon zu Zirkon wechselnden Bedarf anpaßt. Wegen der Dicke der Körner ist bei der Trachtuntersuchung auch mehr als sonst auf die Erzielung einer genügenden Tiefenschärfe zu achten, woraus hervorgeht, daß die stärkste Vergrößerung durchaus nicht immer die beste ist.

Recht oft kann man bei den Zirkonen Unterschiede in der Licht- und Doppelbrechung beobachten, doch diese lassen sich in der Regel nur schwer zahlenmäßig erfassen, da beide Werte auch in diesen Fällen noch immer sehr hoch sind. Der Geologe wird sich daher im allgemeinen damit begnügen müssen anzugeben, daß ein bestimmter Anteil an den Zirkonen einer Probe entweder zur Gänze oder in bestimmten Teilen (z. B. Spitzen, Zonen oder Säumen) eine abweichende, relativ niedrige Lichtbrechung und meist zugleich auch eine relativ niedrige Doppelbrechung hat.

Derartige Zirkone mit teilweise höherer und teilweise niedrigerer Lichtbrechung und deshalb mit den leicht erkennbaren internen Lichtlinien an der Grenze von älteren Kernen oder als Kennzeichen eines zonaren Wachstums (Schalenbaues), wie sie G. HOPPE z. B. 1963 aus dem ostdeutschen Gebiet auf das Eingehendste beschreibt, abbildet, erklärt und auch statistisch erfaßt, sind durchaus keine Ausnahmserscheinungen. Sie treten vielmehr auch im österreichischen außeralpinen und alpinen Bereich in vergleichbarer Häufigkeit und Mannigfaltigkeit auf. Das ist deshalb besonders wertvoll, weil sich gerade aus diesen Beobachtungen die Kristallisationsgeschichte des Zirkons ableiten läßt und diese i. a. wiederum kennzeichnend ist für die Frühgeschichte — und wenn Kerne erhalten sind auch für die Vorgeschichte — der Entstehung des heute vorliegenden Gesteines.

Die vagen Bezeichnungen „niedrige“ oder „hohe“ Lichtbrechung eines Zirkons werden jedoch nicht immer befriedigend sein und in diesen Fällen kann man sich einen Maßstab verschaffen, indem man einige der Zirkone in einer Schwefelschmelze einbettet und die Lichtbrechung damit vergleicht. Das kann am einfachsten wie folgt gemacht werden:

Man vermengt einen Teil des Zirkonkonzentrats auf einem Objektträger mit Schwefelblüte, legt ein Deckglas auf und erhitzt den Träger dann (z. B. mit entsprechendem Abstand über einer kleinen Flamme) bis bei 108°C das Schwefelpulver zu einer gelben durchsichtigen Schmelze wird (Schwefel brennt bereits bei 270° !). Diese Schmelze würde ohne Warmhalten auf dem Mikroskopisch viel zu rasch kristallisieren. Es ist aber nicht schwer, sich für diesen Zweck eine für den Drehtisch passende kleine elektrische Heizunterlage unter Beachtung der nötigen Sicherheitsvorschriften auch selbst zu bauen, z. B. nach folgendem Muster (vgl. Abb. 1).

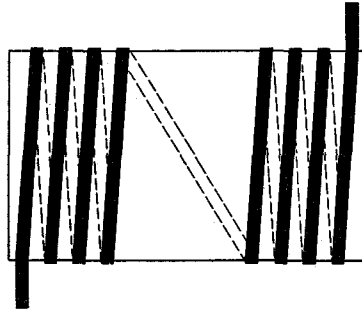


Abb. 1

Um einen Objektträger wird ein blanker Widerstandsdraht gewickelt und auf beiden langen Kanten des Trägers mit einem geeigneten durchsichtigen Plastikklebeband befestigt. Die beiden Enden des Widerstandsdrahtes werden mit möglichst biegsamen dünnen isolierten Drähten mit einem Regeltrafo (z. B. 0—8 V, wie es für die Niedervoltlampchen gebräuchlich ist) verbunden. Bei entsprechender Auswahl des Widerstandsdrahtes und der Regelspannung ist diese kleine Einrichtung imstande eine Schwefelschmelze auch stundenlang gerade noch flüssig zu erhalten.

Zu diesem Zweck wird auf dem Mikroskoptisch von unten (a) nach oben (c) aufeinandergelegt:

- a) eine oder zwei kleine Glasplatten als Wärmeschutz für den Tisch,
- b) die eben beschriebene Heizunterlage, und unmittelbar darauf
- c) den Objektträger mit den Zirkonen in der Schwefelschmelze.

Wegen der starken Dispersion der Schwefelschmelze ist für die Lichtbrechungsbestimmung die Verwendung von monochromatischem Licht nötig. Dafür kann man sich behelfen, indem man reines Se-Pulver zwischen zwei Gläsern schmilzt — nach einigen Versuchen gelingt das möglichst blasenfrei und dünn — und damit hat man entsprechend RINNE/BEREK 1953, S. 181 ein dauerhaftes, gutes Li-Filter. Gerade dieses paßt für unsere Zwecke, denn die Schwefelschmelze hat $n(\text{Li}) = 1.978$. W. E. TRÖGER (1952) gibt für Zirkon $n_{\text{O}} = 1.924$ bis 1.960 und $n_{\text{E}} = 1.968$ bis 2.015 an. Da diese Angaben für weißes Licht stehen, wird man sie für n_{Li} um etwa 0.01 reduzieren können.

Mit dieser Methode kann man z. B. im außeralpinen Kristallin Österreichs doch mit größerer Sicherheit unterscheiden, daß die Zirkone im Granit vom Typus Weinsberg immer eine hohe Lichtbrechung haben, während der rascher abgekühlte Granit vom Typus Mauthausen bei einigen Fundorten auch autigene Zirkone mit zur Gänze oder auch nur teilweise sehr niedriger Lichtbrechung führt. Diese auffallend niedrige Lichtbrechung steht auch hier so wie im Harz (G. HOPPE 1951, 1963) in regelmäßigem Zusammenhang mit niedriger Doppelbrechung, sowie mit der Tracht $ap(x)$ (siehe unten) und häufig einem Zonarbau mit idiomorphen Rekurrenzen. Solche Abarten könnten nach BROTZEN (1952) durch einen Y-Einbau begründet sein, doch spricht die niedrige Brechung eher für einen zunehmenden Wassergehalt.

Bezüglich der Farbe der Zirkonkörnchen sollte man nicht vergessen, diese auch dann anzugeben, wenn sie nur wenig vom farblos durchsichtigen

Normalfall abweichen, und zwar gegen gelblich und rosa. Während mir z. B. eine Rosafärbung unter den vielen Proben aus dem außeralpinen Raum Österreichs noch nie aufgefallen ist, ist sie mir gleich bei drei der relativ wenigen Proben aus den Ostalpen untergekommen: a) bei den etwas rundlichen Zirkonen meiner einzigen Weißerdeprobe von Ausschlag-Zöbern bei Aspang (NÖ.); b) häufig in dem besonders aus Schwarzphyllit und halbmetamorphen Grüngesteinen bestehenden Murenschutt vom Schermergraben im Glemmtal bei Zell am See (Salzburg); und schließlich ist ein Teil der Zirkone im zweiglimmerigen Augengneis südlich Umhausen im Ötztal (Tirol) blaß gelblichrosa. Für die absolute Altersbestimmung am Zirkon dürfte jedoch die Beachtung einer mehr oder weniger braunschwarzen sekundären Verfärbung von größter Bedeutung sein, wobei die Kristalle auch opak werden können (Malakon) (s. u.).

Morphologie des Zirkons

Besonders viele geologische Aussagen lassen sich aus der Morphologie des Zirkons ableiten, wozu neben der äußeren Gestalt auch z. B. die Beobachtungen über einen zonaren inneren Aufbau, über den Einschluß von Zirkonkernen und auch von anderen Mineralien (Mikrolithen), flüssigen und gasförmigen Einschlüssen zählen.

Die äußere Gestalt kann von der allseits runden über eine rundliche mit den ersten Andeutungen einer Idiomorphie bis zur scharfkantigen Ausbildung mehr oder minder flächenreicher Kristalle reichen und aus der jeweiligen Art dieser Gestalt lassen sich in derzeit rasch zunehmendem Maße Schlüsse auf die sedimentären, metamorphen oder magmatischen Entstehungsbedingungen ableiten. Gerade in dieser Hinsicht ist wieder auf die neueste Zusammenstellung von G. HOPPE 1963 hinzuweisen, die ein Maximum von genauen und direkt vorbildlichen Beobachtungen mit gut begründeten Deutungen verbindet. Danach kann ich mich darauf beschränken, abgesehen von einigen ergänzenden Bemerkungen hier nur einige Hinweise zusammenzustellen, die dem Kristallingeologen in erster Linie die Einführung in die Trachtstudien etwas erleichtern können.

Jedem, der sich bei den Feldspaten daran gewöhnt hat (010) = M von (001) = P und eventuell x von y an losen Kristallen zu unterscheiden und der die Vorteile dieser Kenntnis zu schätzen weiß, ist es leicht möglich, auch beim Zirkon bald die wichtigsten Flächen und Lagen zu unterscheiden und er kann damit die sehr regelmäßige Verbreitung der verschiedenen Trachtausbildungen in den Gesteinen studieren.

Zur Tracht der Zirkone

Ein Streupräparat der akzessorischen Zirkone zeigt uns die Kristalle im allgemeinen in einer wesentlich anderen und günstigeren Perspektive, als das beim Schliff der Fall ist. Man sieht nämlich nicht nur die Umriß-

linien viel klarer und ohne Beeinflussung durch den Schnitteffekt. Auch die objektivseitigen Kanten — und bei besonders gut durchsichtigen und ebenflächigen Kristallen auch die vom Objektiv abgewandten Kanten — sind nie weggeschliffen, sondern schön zu beobachten und es fehlt die Unter- oder Überlagerung durch ein anderes Mineral. Und schließlich liegen die Kristalle zumeist in einer einheitlichen und dabei die Erkennung der Tracht noch begünstigenden Lage. Die vorwiegend prismatisch ausgebildeten Kristalle liegen nämlich auch in den Dauerpräparaten in der Regel recht schön auf einer Fläche ihrer beiden Prismen (100) und (110) auf.

Für die Messung der Spitzenwinkel muß vorsichtshalber vorausgeschickt werden, daß bei der festen Einbettung gewiß auch manchmal eine stärkere Schräglage der Zirkone vorkommt. Das ist speziell dann eher der Fall, wenn die Prismenflächen in ihrer Größe gegenüber den Pyramidenflächen zurücktreten, aber das kam in den vielen von mir durchgesehenen Proben nur ausgesprochen selten vor. Es können aber auch längere Säulchen manchmal gekippt in der Einbettung liegen. Kommt es dabei gegenüber der Ideallage auf einer Prismenfläche nur zu einer Schrägstellung der Hauptachse, dann werden die Spitzenwinkel etwas größer. Liegt der Stengel hingegen auf einer Prismenkante von (100) gegen (110), dann kann der Spitzenwinkel einmal größer und einmal kleiner sein als in der Ideallage; d. h. wir erhalten Zwischenwerte zwischen jenen Spitzenwinkeln, die im folgenden für die Lage auf (100) und auf (110) angegeben sind. Beide Fälle von Schräglagerung kann man durch das Fokussieren von Kanten bei stärkeren Vergrößerungen aus- einanderhalten und beide treten nicht in einem Maße auf, daß sie die geologische Auswertung der Trachtstudien wesentlich beeinträchtigen könnten. Wer aber auch die Tracht lückenlos statistisch erfassen will, wird wohl auf dem Universaldrehtisch manche Körnchen bis zur Ideallage (mit einer Prismenfläche möglichst senkrecht zur Mikroskopachse) kippen müssen.

Auch G. HOPPE ist bisher bei seinen Trachtstudien im allgemeinen mit der Erfassung von vier verschiedenen Flächen (d. h. genau genommen vier verschiedenen Formen) ausgekommen: die schon genannten Prismen $a = (100)$ und $m = (110)$, sowie die relativ flache Grundpyramide $p = (111)$ und eine steilere Pyramide $x = (311)$.

Die anderen Formen sind seltener. Die besonders flache Pyramide (101) wurde bisher auch im österreichischen Bereich bisher kaum gefunden und $u = (331)$ tritt gegenüber x ganz zurück. Wenn man allerdings nur die Umrißlinien der Kristalle sieht, dann ist u nicht in jedem Fall von x zu unterscheiden. Eine der besonders steilen Pyramiden, z. B. (511), tritt zwar z. B. im Formenkreis der Zirkone des Weinsberger Granits nebenbei auf, ihre Verteilung auf bestimmte Gesteinstypen ist jedoch derzeit auch noch zu wenig bekannt, als daß sich aus ihrem Auftreten schon etwas für die genetische Deutung ableiten ließe.

Folgende zwei ganz einfache Kombinationen von entweder a oder m mit derselben Grundpyramide p sind in der Natur gar nicht selten. Sie sind besonders leicht zu unterscheiden, da sie ganz regelmäßig auf einer Fläche des jeweils charakteristischen Prismas aufliegen.

Für die rasche Unterscheidung ist folgendes wesentlich:

1. der Spitzenwinkel:

1. a) bei der Tracht ap beträgt er $2 \times 57^\circ 22'$, das ist rund $114\frac{3}{4}^\circ$, also um etwa 25° größer als ein rechter Winkel;

1. b) bei der Tracht mp beträgt er $2 \times 47^\circ 50'$, das ist $95\frac{2}{3}^\circ$, also nur um knapp 6° größer als ein rechter Winkel, oder wenn eine Vergleichsmöglichkeit fehlt, ihm fast gleich zu halten;

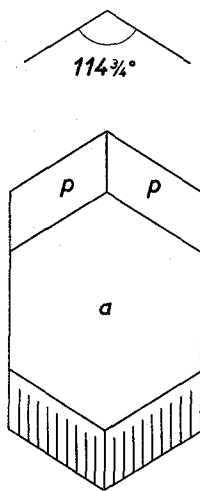


Abb. 2 a: Tracht ap, liegt auf a

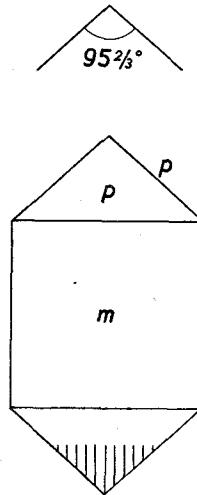


Abb. 2 b: Tracht mp, liegt auf m

2. die leicht zu unterscheidende Lage der Kanten zwischen der Pyramide und den Prismenflächen. Bei der Tracht ap zeichnen diese Kanten den Spitzenwinkel von $114\frac{3}{4}^\circ$ parallel nach und bei der Tracht mp verlaufen sie immer senkrecht zur Hauptachse, d. h. bei unserer Aufstellung waagrecht. Überdies erscheinen durch die starke Innenreflexion, die dem Zirkon in einem Einbettungsmedium mit niedriger Lichtbrechung eigen ist, die Spitzen mehr oder minder dunkel, u. zw. bei beiden Trachtausbildungen recht verschieden (vgl. die prinzipiellen Unterschiede, die in Fig. 2 a und 2 b unten angedeutet sind). Demgegenüber erscheint die Prismenzone — falls nur ein Prisma entwickelt ist — bis zum Rande hell. Das kann bei schwachen Vergrößerungen zu dem Flüchtigkeitsfehler führen, daß man solche Kristalle für niedriger lichtbrechend hält, als andere mit ausgebildetem zweiten Prisma. Bei diesen wirken nämlich die schräg zur Mikroskopachse liegenden Prismenflächen wiederum als Keile und damit erscheint auch die Prismenzone nach außen hin als dunkel begrenzt. Das aber könnte mit einer stärkeren Beckeschen Lichtlinie verwechselt werden.

Die noch flachere Pyramide (101) = e wurde bisher in Österreich noch nicht nachgewiesen. Sie hätte zwar bei der Tracht ae, wenn der Kristall auf a aufliegt, wieder einen Spitzenwinkel von $114\frac{3}{4}^\circ$, wie bei der oben gezeigten Tracht ap, wenn diese ebenso auf a liegt. Der Unterschied besteht auf den ersten Blick darin, daß e in diesem Falle als gleichschenkeliges Dreieck erscheint, welches mit dem Prisma bei normaler Aufstellung horizontale Kristallkanten bildet. Bei der Tracht me liegen die Kristalle im allgemeinen auf m auf und erst dann ist der Spitzenwinkel besonders stumpf, nämlich $134^\circ 10'$. Die beiden an einer Spitze sichtbaren e-Flächen erscheinen dabei als Parallelogramme (ähnlich ap auf a).

Bei den nächsten beiden Varianten tritt zur Grundpyramide p und je einem Prisma noch die achtfächige Pyramide $x = (311)$ (Abb. 3 a, b).

Die Bezeichnung der Tracht wird nach dem Vorgang von G. HOPPE (1963) so vorgenommen, daß zuerst die auftretenden Prismen und dann die Pyramiden genannt werden und innerhalb der Prismen (oder Pyramiden)

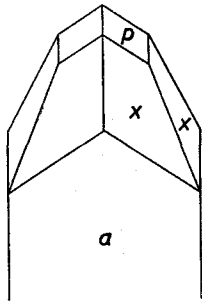


Abb. 3 a: Tracht axp, liegt auf a

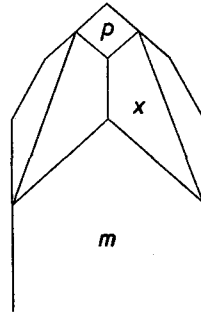


Abb. 3 b: Tracht mxp, liegt auf m

wird die stärker entwickelte Form zuerst angeführt. Flächen, die stark zurücktreten, oder nur bei einem Teil der sonst gleichartigen Zirkone einer Probe auftreten, kann man in Klammer schreiben: z. B. ap(x).

Die Pyramide $x = (311)$ kann freilich auch die Grundpyramide p an Größe übertreffen, oder wie in der folgenden Abb. 4 ganz ablösen.

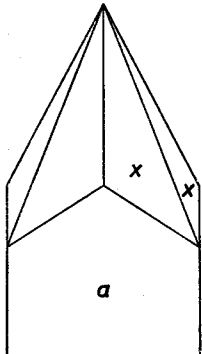


Abb. 4 a: Tracht ax, liegt auf a

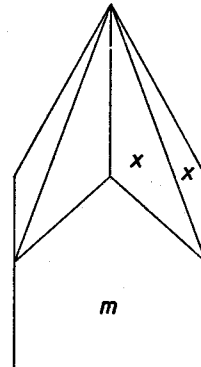
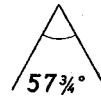


Abb. 4 b: Tracht mx, liegt auf m

Und schließlich sind neben den beiden Pyramiden öfters auch beide Prismen gleichzeitig entwickelt. Danach zeigt der gleiche Ideal-Kristall, wenn a und m gleich groß sind, zwei Gesichter, je nachdem ob er auf a oder auf m aufliegt (Abb. 5 a und b).

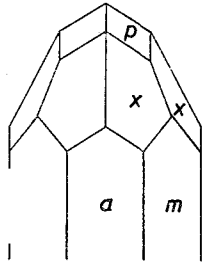


Abb. 5 a: Tracht amxp, liegt auf a

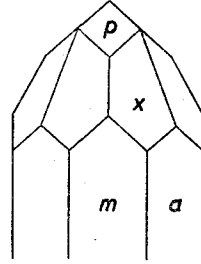


Abb. 5 b: Tracht amxp, liegt auf m

Beim gleichzeitigen Auftreten beider Prismen sind — bei idealer Entwicklung — beide dann gleich groß entwickelt, wenn die dem Beschauer zugewandte Prismenfläche eine Breite von rund 41,4% der Dicke des Kristalles hat. Meist aber ist das eine Prisma deutlich stärker ausgebildet, und auf dessen Fläche liegt dann auch im allgemeinen der Kristall auf.

Es zeigt sich nun, daß in vielen granitischen Gesteinen a die ausschließlich oder bevorzugt entwickelte Prismenform ist, wie in folgenden österreichischen Beispielen: außeralpin: Mauthausener Granit, Altenberger Granit, Titanitfleckengranit von Aigen-Schlägel, Schärddinger Granit von Gopperding, Freistädter Granodiorit, Bittescher Gneis von Mallersbach; — alpin: Granit von Wolfsthal bei Hainburg, migmatischer Granitgneis vom Markogel bei Villach, Granitgneis (Zentralgneis) von Koschach-Maltatal, Augengneis (Zentralgneis) von der Haltestelle Böckstein und zweiglimmeriger Augengneis südlich Umhausen, Ötztal. — Die meisten von diesen Gesteinen sind zugleich muskowitzführend, aber durchaus nicht alle, wie z. B. der Freistädter Granodiorit.

Es gibt aber auch granitische Gesteine, in denen die beiden Prismen etwa gleich stark entwickelt sind, m vorwiegt, oder auch allein auftritt und in denen man also öfters oder fast immer den nahezu rechten Spitzenwinkel mißt. Das gilt für den im österreichischen außeralpinen Kristallin bei weitem verbreitetsten Granittypus, den Weinsberger Granit samt seiner Abart, dem Rastenberger Granit und besonders für den Granit vom Typus Engerwitzdorf¹⁾. Diese größere Bedeutung von m in manchen granitischen Gesteinen ist umso beachtenswerter, als nach den Erfahrungen von G. HOPPE (1963) an mitteldeutschen und ostdeutschen Gesteinen die Bevorzugung von m für die Porphyre typisch ist²⁾. Wäre es nicht möglich, daß solche Porphyre in der Tiefe mit gröberen granitischen Gesteinen (z. B. Graniten von ungefähr Weinsberger Art = Kristallgranit I in Bayern) zusammenhängen, welche auch dieselbe Zirkontracht besitzen und daß also der Zirkon aus der Tiefe praktisch fertig mitgebracht worden ist?

¹⁾ Dieser Granittypus ist NE von Linz neben anderen verbreitet und wurde in meinen bisherigen Berichten (z. B. 1959) noch unter der Arbeitsbezeichnung „mittelkörniger Weinsberger Granit“ angeführt.

²⁾ Auf seiner Tafel 24 vom Ilmtalgranit (Thüringer Wald) liegen freilich auch alle Zirkone außer Nr. 8 offensichtlich auf m. Bei derselben Probe ist aber auf seiner Tabelle 10 auf Grund des wohl viel größeren Beobachtungsmaterials mapx, ampx als Tracht angegeben.

Ein weiteres Beispiel soll die zahlenmäßige Erfassung der Vormacht der *m*-Prismenflächen an einem geologisch interessanten Material, nämlich einem altersmäßig recht umstrittenen Gestein der Zentralalpen zeigen, das meist zu den „Zentralgneisen“ gestellt wird. Es ist dies der Metatonalit bis Tonalitgneis (Tonalitgranit bei F. KARL 1954) von der Warnsdorfer Hütte im Hintergrund des Krimmler Achentales (Venediger-Gruppe, Hohe Tauern). Dessen Zirkone sind klar, erstklassig scharfkantig und ebenflächig wie die aus periadriatischen Tonaliten und man erkennt daher leicht, daß z. B. von 107 gut erhaltenen Zirkonen 70 Stück einen Spitzwinkel von etwa 96° haben und eindeutig auf der größer entwickelten Prismenfläche *m* aufliegen; weitere 22 Stück sind sogar tafelig nach einer *m*-Fläche, so daß sie die keilförmige Endigung zeigen, wie weiter unten beschrieben wird; und 15 Zirkone liegen auf *a*, aber bei ihnen ist *a* trotzdem schmaler als *m* (s. o.). Die Tracht ist demnach *maxp*, und doch war auch dieses Gestein vor der alpinen Metamorphose kein Ergußgestein, sondern war hochplutonisch bis maximal subvulkanisch erstarrt (KARL 1954). Bei der Metamorphose ist zwar z. B. der ursprünglich stark zonare Plagioklas weitestgehend entmisch (also gefüllt) worden und es sind auch kleine Granate gewachsen; aber der typisch magmatisch geformte ¹⁾ Zirkon läßt an diesem Fundpunkt keine optischen Anzeichen einer Umkristallisation, eines Instabilwerdens (s. S. 425 f) oder Weiterwachsens unter geänderten Bedingungen erkennen.

Ganz sicher aber ist, daß die Bevorzugung von *m* nicht auf eine Entstehung der Zirkone im subvulkanischen bis vulkanischen Bereich hinweist, sondern auch bei einer bestimmten Gruppe von Graniten auftritt, u. zw. sind die Weinsberger Granite in Oberösterreich sogar die ursprünglich tiefststehenden Granite, in schätzungsweise 20 bis 30 km Tiefe durch weiträumige Aufschmelzung in diesem Stockwerk entstanden und auch fast *in situ* erstarrt. Auch der Engerwitzdorfer Granit gehört noch zu den eher tiefststehenden syntektonischen Graniten dieses Raumes und bei ihm ist *m* stark bevorzugt, so daß die Zirkone ganz jene Tracht haben, wie sie HOPPE 1963 auf den Tafeln 13, 14, 15 und 17 von Porphyren vorführt.

Es soll hier noch auf die auffälligen Verzerrungen hingewiesen werden, die durch die tafelige Ausbildung nach einer einzelnen Prismenfläche entstehen kann. Davon gibt es wieder zwei Arten.

Für die erste Art der tafeligen Ausbildung nach *a* gebe ich hier einfach drei Zeichnungen von J. SLAVIK (1952) wieder (Abb. 6).

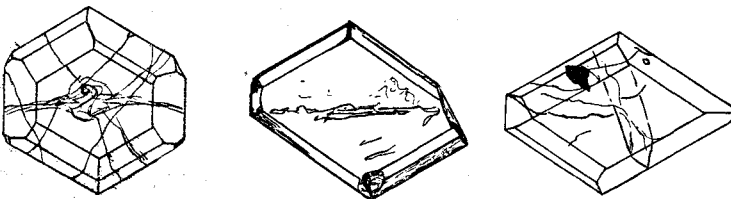


Abb. 6: Tafelige Ausbildung nach *a* (nach J. SLAVIK)

¹⁾ Die Zirkone sind reich an stäbchenförmigen, farblosen Mikrolithen, die sehr deutlich nach der Korngestalt geregelt eingeschlossen sind, was dem Schema auf Seite 422 im Prinzip entspricht. Für die Altersbestimmung ist im übrigen noch wichtig, daß jede Spur von fremden Zirkonkernen fehlt.

Außer der Mittelfläche *a* erkennt man noch *m*, *p* und *x*, und der Spitzenwinkel ist wieder, wie immer bei der Tracht *ap*, $114\frac{3}{4}^\circ$.

SLAVIK hat zwar die Flächen noch nicht indiziert, er hat aber diese abweichende Erscheinungsform als „Typus D“ registriert. Danach stellen diese nach *a* tafeligen Zirkone in manchen Granodioriten und Hornblendedioriten des zentralböhmischen Plutons bis 9 und 11% der Gesamtzahl der Zirkone. Ich habe sie in etwa entsprechender Häufigkeit im sehr basischen Rastenberger Granit von Echsenbach (NÖ.) wiedergefunden.

In HOPPEs Abbildungen scheint diese Abart nicht auf, wohl aber jene zweite mit tafeliger Ausbildung nach einer *m*-Fläche. Sie ist dort z. B. auf Tafel 12, Abb. 3, aber auch 14/9, 19/2, 24/17, 13/2 sowie 4/1 und 4 nach der keilförmigen Endigung und sonstigen Flächenausbildung mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit zu erkennen (HOPPE 1963). Der ergänzte Spitzenwinkel ist wie immer bei *mp* $95\frac{2}{3}^\circ$.

Als Beispiel für die tafelige Ausbildung nach *m* kann der in Abb. 7 gezeigte ganz einfache Fall dienen, bei dem der Kristall etwa halb so dick wie breit ist.

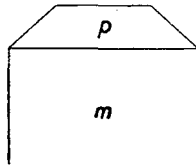


Abb. 7: Nach *m* tafeliger Zirkon liegt auf *m*

J. SLAVIK (1952) hat auch diese nach *m* flache Abart schon beachtet, und ohne nähere Indizierung ihrer Flächen als Typus B angesprochen, der in seinen Proben von Granodioriten und Hornblendedioriten bis 9% und einmal sogar bis 15% der Gesamtzahl der Zirkone erreicht. Diese Abart tritt in Oberösterreich speziell im Engerwitzdorfer Granit stellenweise auf, den ich ja schon oben als jenen Granit mit besonderer *m*-Vormacht, also *m(a)px*-Tracht oder *m(a)xp*-Tracht, gekennzeichnet habe. Im Weinsberger Granit konnte ich diese Abart demgegenüber seltener finden, z. B. sehr schön im dritten Steinbruch an der Straße, $\frac{3}{4}$ km E v. Kefermarkt.

Nach dieser kurzen Einführung in die Unterscheidung der einen oder anderen Tracht sind im Prinzip bereits alle gut ausgebildeten Kristalle einordenbar, die mir bisher in österreichischen Proben untergekommen sind. Diese Tracht-Typologie genügt aber ebenso auch für die von SLAVIK aus dem tschechischen und von HOPPE aus dem mittel- und ostdeutschen Raum in großer Zahl abgebildeten Kristalle, vorausgesetzt, daß sie noch ebene Flächen erkennen lassen. Es sind also offensichtlich einfache Möglichkeiten vorhanden, Trachtunterschiede bei diesen winzigen und zudem ausnehmend stabilen Frühausscheidungen besonders der saureren Schmelzen festzustellen. Es ist anzunehmen, daß die Verbreitungsregeln und die genetische Deutung dieser Trachttypen immer genauer erkannt werden, sobald sich noch mehr Beobachtungen aus mehr Gebieten vergleichen lassen. Doch schon jetzt kann man manches damit anfangen. Es sind z. B. in manchen Partien von Mauthausener Granit die authigenen und die z. T. aus einem älteren Granit

übernommenen allothigenen Zirkone unter gewissen Umständen am ehesten durch die Tracht zu unterscheiden¹⁾. Das gilt ganz besonders am Rande gegen ein älteres granitisches Nebengestein, wie auch in Apophysen, wo man oft noch unverändert übernommene Fremdzirkone findet, die noch nicht von neuer Zirkonsubstanz umhüllt sind, und die auch nicht immer durch eine andere Lichtbrechung, Doppelbrechung oder Trübung auffällig gekennzeichnet sind. So aber bekommen wir einen besseren Einblick in die lokalen Ausmaße und Vorgänge bei der Stoffaufnahme, und damit sind wir uns auch bei absoluten Altersbestimmungen über die Deutung eines gegenüber den Kartierungsergebnissen höheren U/Pb-Alters im klaren.

Morphologische Erscheinungen im Inneren des Zirkons

An das Studium der Trachtentwicklung läßt sich unschwer eine nähere Diagnostizierung des häufigen, idiomorphen Zonarbaues sowie der eventuellen Einregelung von kristallinen Fremdeinschlüssen anschließen. Gerade für das Erkennen einer solchen Einschlußregelung ist die Vertrautheit mit der Tracht Voraussetzung.

In vielen Gesteinen sind im Zirkon Mikrolithe mit relativ niedriger Lichtbrechung und in diesen Größen meist kaum merklicher Doppelbrechung eingeschlossen (i. a. Apatite). G. HOPPE bildet 1963 solche einschlußreiche Zirkone auf Tafel 15/7 und 19/5 z. T. optimal scharf ab. Die Einschlüsse sind besonders dann für unsere Betrachtung verwertbar, wenn sie nicht körnig aussehen, sondern eine idiomorph-säulige, stengelige oder sogar nadelförmige Gestalt haben. Stellen wir uns nun räumlich vor, daß der Zirkon von seinem Zentrum ausgehend idiomorph gewachsen ist, wie es ja oftmals durch einen Zonarbau mit Rekurrenzen bestätigt wird. Dann werden wir aus ihrer räumlichen Anordnung oft schließen können, daß sich die Mikrolithen in einem früheren Wachstumsstadium an eine damalige Außenfläche des Zirkons angelegt haben und sodann vom Zirkon überwachsen wurden.

¹⁾ Die Unterscheidung von authigenen und allothigenen Zirkonen in einem bestimmten Gestein ist z. B. dann möglich, wenn man von beiden Gruppen die optischen Eigenschaften (Tracht usw.) mit den Zirkongesellschaften in allen umgebenden, nach den geologischen Verbandsverhältnissen älteren Gesteinen vergleicht, und erkennt, daß in unserem Gestein eine bisher noch nicht vorgekommene Zirkonabart dazugekommen ist. Diese ist dann wohl authigen, besonders wenn sie die relativ beste Erhaltung unter allen Zirkonabarten aufweist. — Eine weitere Möglichkeit der Unterscheidung authigener und allothigener Zirkone bietet sich in folgendem auch aus der Praxis gegriffenen Fall an: Zur Zirkonvergesellschaftung des zu untersuchenden Granits gehören z. B. drei verschiedene Gruppen von Zirkonen: 1. solche, die z. B. entsprechend ihrem idiomorphen Schalenbau vom Zentrum bis zu den Außenflächen einheitlich nach einer Tracht (z. B. ap) aufgebaut sind; 2. eine zweite Gruppe mit abweichenden morphologischen und optischen Eigenschaften und 3. solche Zirkone, bei denen (z. T. zerbrochene und korrodierte) Kerne der 2. Art von Schalen der 1. Art überwachsen wurden. Dann können die Zirkone der 1. Gruppe und die Randteile bei denen der 3. Gruppe i. a. als authigen angesprochen werden. Bei den Zirkonen der 2. Gruppe und den Kernen der 3. Gruppe hingegen muß man versuchen, durch Vergleiche mit den Zirkongesellschaften der Nebengesteine das oder die möglichen Ausgangsgesteine herauszufinden.

Zur Erläuterung soll eine Prinzipskizze (Abb. 8) dienen. Es ist da ein Zirkon der Tracht *ap* dargestellt, von dem wir einfachheitshalber annehmen, daß er in derselben Tracht schon vom Keim aus gewachsen ist. Nehmen wir weiter an, man könnte nun durch genaues Fokussieren bei starker Vergrößerung erkennen, daß die stengeligen Einschlüsse mit der Bezeichnung I bis 5 zwischen dem Zirkonzentrum und der objektivseitigen *a*-Fläche liegen und daß sie außerdem alle parallel zu *a* liegen, also immer mit beiden Enden gleich hoch. Die Einschlußstengel I bis VI liegen offensichtlich parallel zu der rechten und der linken Außenfläche eingebettet; sie können aber zugleich schräg im Raum liegen, so daß also die beiden Enden eines solchen Stengels nicht gleichzeitig scharfgestellt werden können. Die gleiche Neigung im Raum können die Einschlußstengel A bis D aufweisen, von

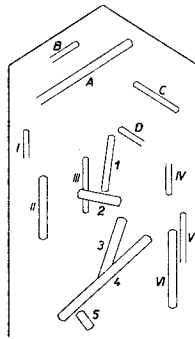


Abb. 8

denen A sogar länger ist, als die zugehörige Auflagefläche. All das zusammen ergibt ein Muster einer „Einschlußregelung nach der Korngestalt“ von Wirt und Einschlüssen.

Es können aber auch mehrere der Einschlüsse außerdem mit der Hauptachse parallel zur Hauptachse des Zirkons eingewachsen sein, und wenn eine solche „Achsenregelung“ gar allein vorkommt, dann könnte auch ein gleichzeitiges Parallelwachstum vorliegen. Das ist für uns genetisch nicht so interessant, wie der zuerst geschilderte Fall.

Die Regelung nach der Korngestalt kennen wir nämlich von anderen Mineralien her schon sehr gut, insbesondere von den oft sehr einschlußreichen Kalifeldspaten. Bei dieser Mineralart haben in Hinsicht auf die Einschlußregelung u. a. A. MAUCHER 1943, G. FRASL 1954 und G. KRAUS 1962 viele wesentliche Beobachtungen gesammelt und die ganz von Einzelheiten der Einschlußanordnung abhängenden Argumente für die petrogenetische Auswertung zusammengestellt, was bei den Kalifeldspaten wegen der bedeutenderen Größe des Objektes und der wesentlich größeren Zahl von Einschlüssen freilich noch viel genauer geht, als beim Zirkon. In Anwendung der dort bereits zusammengestellten prinzipiellen Überlegungen über die Einschlußregelung möchte ich hier nur kurz darauf hinweisen, daß in den meisten Fällen, die im Prinzip dem an Hand von Abb. 8 dargelegten Regelungsphänomen entsprechen, folgende Entstehung anzunehmen sein wird:

Daß sich nämlich mehrere in einer Schmelze in größerer Zahl frei schwebende, stengelförmige Mikrolithen infolge der Massenanziehung an die Außenflächen eines etwas größeren Zirkons angelegt haben und dann von diesem eingeschlossen wurden. Auch hier gilt, daß diese Erklärung umso eher angewandt werden kann, je zahlreicher die Einschlüsse sind, die auf die besagte Weise eingeregelt sind. Es wird also darauf ankommen, unter den sonst gleichartigen (authigenen) Zirkonen einer Probe besonders nach jenen zu suchen, welche die meisten Einschlüsse und die beste Regelung derselben besitzen, genauso wie man sich in einem Gestein unter Fossilien der gleichen Art auch immer die bestausgebildeten und besterhaltenen Exemplare zur genaueren Bestimmung und Beschreibung aussucht. Im Notfall kann man aber schon daraus die ersten nützlichen Hinweise auf eine wahrscheinlich schmelzflüssige Entstehung ableiten, wenn in einer Probe einige der authigenen Zirkone z. B. je fünf gut eingeregelt Einschlüsse besitzen. Freilich sollte dann eine solche noch mit aller Unsicherheit behaftete Deutung womöglich durch zusätzliche andere Beobachtungen bekräftigt werden.

Gewiß ist eine Einschlußregelung nach der Korngestalt nicht der einzige oder beste Schmelzflußanzeiger beim Zirkon, aber zur Bestätigung der anderen Indizien (z. B. von Tracht und Zonarbau) und auch wenn die anderen fehlen, ist sie immer beachtenswert. So sind mir z. B. im Gebiet zwischen Linz und Freistadt (OÖ.) in größerer Verbreitung die sogenannten Grobkorngneise untergekommen (vgl. G. FRASL 1963), d. s. Biotitplagioklasgneise, die größere Kalifeldspate führen und bisher gerne als rein metamorph-petroblastisch entstanden angesehen wurden. Sie entsprechen etwa den Körnelgneisen die G. ANDRITZKY jüngst von Regensburger Wald (Bayern) genauer untersucht hat. Bei Freistadt zeigen darin die Zirkone trotz außen oft unvollkommener, z. T. auch rundlicher Ausbildung im Inneren prinzipiell die gleichen deutlichen Formregelungserscheinungen ihrer Einschlüsse, wie die außen meist schön idiomorphen Zirkone im anschließenden Weinsberger Granit und wie die ideal scharfkantigen Zirkone im ebenfalls damit zusammenhängenden Engerwitzdorfer Granit. Das heißt für mich, die Grobkorngneise müssen im Hauptstadium der Zirkonbildung (also in einem Frühstadium der Gesteinsbildung) in zumindest ganz ähnlicher Weise schmelzflüssig gewesen sein, wie die Weinsberger und Engerwitzdorfer Granite, denn sonst hätten sie nicht die gleiche Einschlußregelung, für deren Entstehung ein idiomorphes Heranwachsen der einzelnen Zirkone und freie Beweglichkeit der Mikrolithen in ihrer Umgebung vorausgesetzt werden kann. Nur spielt bei den Grobkorngneisen bereits im Endstadium des ohne Hiatus durchgehenden Zirkonwachstums die Petroblastese eine überragende Rolle, die auch die Ausbildung der ganzen anderen Mineralien weitgehend beherrscht, während die beiden damit zusammenhängenden Granite (bis auf die der Größe der Granitkörper entsprechende Endblastese) ungestört aus der Schmelze auskristallisieren konnten.

An dieser Stelle möchte ich so zwischendurch doch daran erinnern, daß die Zirkonmikroskopie freilich nicht die übrige Gesteinsuntersuchung ersetzen kann, sondern nur eine allerdings wesentliche Ergänzung darstellt. Es wäre aber auch eine genauere Beobachtung der pleochroitischen Höfe um die Zirkone zu empfehlen, die durch ihre Radian im Biotit nicht nur erste Auskünfte über den U- oder Th-Gehalt der Zirkone geben können, sondern auch für die absolute Altersbestimmung bei Biotit bis zu einem

gewissen Grad beachtenswert sind. Dabei denke ich speziell an den Umstand, daß die Biotite schon bei relativ geringer Aufwärmung rekristallisieren (E. JÄGER 1963) und daß somit der Erhaltungszustand der pleochroitischen Höfe im Biotit für die lokale Stärke der alpidischen Metamorphose in den Zentralalpen bezeichnend sein kann. Auf Grund der Ausbleichung der pleochroitischen Höfe, aber auch anderer Erscheinungen, kann man also z. B. ein mit physikalischen Methoden erhaltenes Alter mit guter Begründung als Mischalter erklären. Ansonsten erscheint mir auch die Einschlüßdichte des Zirkons in bestimmten anderen Mineralien, wie sie die petrogenetische Untersuchung des Kristallgranites I in Bayern in einer Arbeit aus der Schule von G. FISCHER (G. KRAUS 1962) beispielhaft zeigt, in jedem Falle mehr als bisher beachtenswert. Auch auf solche Weise bekommt man mit der Zeit sichere Maßstäbe für Einzelheiten des weitgehend schmelzflüssigen Zustandes, die von Gesteinstyp zu Gesteinstyp und auch von Ort zu Ort desselben Magmakörpers in gewissen Maßen variieren.

Daß außerdem beim Zirkon selbst dem ganzen Beobachtungskreis über Kerne, Verunreinigungen, Zonarbau, Baufehler, Wachstumshemmungen sowie Wachstumsbehinderungen aller Art eine eminente Bedeutung für die minerogenetische und petrogenetische Forschung und daher auch für die absolute Altersbestimmung zukommt, hat G. HOPPE 1962 und 1963 überzeugend genug dargelegt.

Es gibt auch — in den Alpen häufiger als im Mühlviertel und Waldviertel — den Fall, daß ein mehr oder minder großer Teil der Zirkone eines Gesteins einen scharf abgesetzten und meist sehr dünnen Fortwachsungs-Saum mit wesentlich niedrigerer Lichtbrechung (und Doppelbrechung) besitzt. Dieser Saum läßt am ehesten auf eine späte Wachstumsphase unter geänderten und gegenüber dem Kernwachstum wahrscheinlich ungünstigeren Stabilitätsbedingungen schließen. Die Säume erscheinen oft etwas schwammig und ihre Oberfläche ist im Detail manchmal amöboid, wie wir es in vergleichbarer Weise bei Spät- und Endstadien des Feldspatwachstums (z. B. Albitsäume bei idiomorphen, zonaren Plagioklasen) kennen. Im Moldanubikum des Mühl- und Waldviertels sind die Säume im Zirkon auf Grund der geologischen Gegebenheiten und Beobachtungen an anderen Mineralien z. T. durch schwaches Weiterwachsen bei teilweisen Wiederaufschmelzungen oder vielleicht auch z. T. als Bildungen der Endoblastese zu erklären. Im Alpenraum, besonders in den Hohen Tauern, werden sie jedoch nicht nur auf diese Ursachen zurückzuführen, sondern in mehr Fällen ein Ergebnis des Weiterwachsens infolge der alpidischen Metamorphose sein. Sehr schöne Säume von prinzipiell derselben Art wie in den Alpen sind auch im Moravikum Niederösterreichs verbreitet, wo ich sie in Granitproben aus Maissau und westlich Retz gefunden habe. Auch da halte ich es für das wahrscheinlichste, daß sie Bildungen jener Metamorphose sind, die z. B. die Füllung der Plagioklase verursacht hat. Diese Metamorphose ist aber im Moravikum bekanntlich nicht alpidisch, sondern variszischen Alters. — Diese Säume müssen nicht das ganze Korn gleichmäßig umhüllen; meist sind sie an den Spitzen, auf den Pyramidenflächen, deutlicher entwickelt. Sie heben sich vom Grundkörper dann am auffälligsten ab, wenn man sie bei gekreuzten Nicols in Diagonalstellung sucht, denn dabei bilden sie um den meist dunkelrandigen Hauptkörper eine hellbunte Linie.

Bei der Beobachtung der Zirkone unter dem Binokular im Auflicht werden solche Einzelheiten leicht übersehen. Die Säume wird man aber besonders in jenen Fällen beachten müssen, in denen man die Deutung der Zerfallsaltersbestimmung auf Grund der Zirkone versucht.

Nicht weniger sollten auch die schon unter dem Binokular merklichen Trübungserscheinungen genauestens studiert werden. Bei näherer Betrachtung der unterschiedlichen Eigenschaften, die bei flüchtigem Hinsehen als „Trübung“ zusammengefaßt werden können, sind prinzipiell zwei recht verschieden geartete Erscheinungsgruppen zu unterscheiden, die wiederum auf ganz verschiedene Ursachen zurückzuführen sind.

Bei der einen Erscheinungsgruppe ist die „Trübung“ bedingt durch einen oszillatorischen Zonarbau, bei dem idiomorphe Schalen mit wechselnden optischen Eigenschaften einander umhüllen. Viele derart zonargebaute Zirkone sind z. B. von G. HOPPE 1963 abgebildet worden, besonders schön auf Tafel 23, Abb. 6. Die idiomorphen Zonen unterscheiden sich in erster Linie durch verschieden hohe Lichtbrechung, wobei die manchmal auftretende Anhäufung vieler Lichtlinien auf engstem Raum bei schwacher Vergrößerung wie eine Trübung wirken kann. Daß in diesen Zonen meist auch die Doppelbrechung und gewiß auch der Chiasmus wechselt, sei nur wiederholt. Ein solcher Zonarbau kann u. a. wegen der prinzipiellen Übereinstimmung mit basischen Rekurrenzen bei den Plagioklassen z. B. eines Andesits mit großer Bestimmtheit als primär-magmatische Wachstumserscheinung angesehen werden.

Ein so gearteter Zonarbau wurde in granitischen Gesteinen (auch Granitgneisen) des außeralpinen und alpinen Kristallins Österreichs oft beobachtet. Er tritt z. B. sehr stark in authigenen Zirkonen des Mauthausener Granits auf, der als tiefplutonisch angesehen werden darf, während er im eher abyssischen Weinsberger Granit fehlt. Es gibt noch andere Gründe, wie z. B. den Vergleich mit dem Zonarbau der Plagioklasse, welche es wahrscheinlich machen, daß auch beim Zirkon das Auftreten von Zonarbau vom Kristallisationsniveau abhängt. Die eher wechselhaften Kristallisationsbedingungen in der Nähe der Erdoberfläche würden nach dieser Vorstellung die Ausbildung des Zonarbaus begünstigen. Andererseits soll das nicht heißen, daß nichtzonare Zirkone zugleich auch ein tieferes Erstarrungsniveau beweisen müßten. Schließlich gehören die magmatischen Zirkone in der Regel zu den Erstausscheidungen, und das Wachstumsniveau der authigenen Zirkone muß nicht unbedingt mit dem Erstarrungsniveau des Gesamtgesteins zusammenfallen.

Von dem primären, idiomorphen Schalenbau, den ich bei entsprechend guter Ausbildung als Schmelzflußanzeiger werte, ist grundsätzlich die sekundäre Trübung zu unterscheiden. Dieses Zeichen eines Instabilwerdens kann von einem oder beiden Kristallenden oder von der Kernregion, dann auch von rupturrellen Partien im Kristall und schließlich auch von gewissen primär angelegten Zonen ausgehen, wobei die ursprünglich niedriger lichtbrechenden Zonen eher erfaßt werden. Es gibt alle Übergänge von den ersten Trübungsspuren bis zur völligen Veränderung des ganzen Kristalls. Während sich die getrübbten Partien oder ganzen getrübbten Zirkone im Auflicht unter dem Binokular vom klaren Rest durch eine mehr oder minder weißliche Aufhellung abheben, ist an denselben

veränderten Stellen im Durchlicht ein Dunklerwerden zu beobachten, das von den schwächsten Anzeichen einer Brauntönung bis zur Schwärzung im Extremfall reicht. Was bedeutet nun eine solche sekundäre Trübung für den Geologen?

In den östlichen Hohen Tauern sind beispielsweise die Zirkone der Augengneise (Zentralgneise) vom Bruch unter der Haltestelle Böckstein im Gasteiner Tal z. T. schon völlig opak geworden, während sie im Zentralgneis von Koschach im Maltatal (leg. N. GRÖGLER) nur wenig, und dann meist nur schwach gebräunt sind (wobei diese sekundäre Veränderung u. a. deutlich die niedriger lichtbrechenden der schon primär vorhandenen idiomorphen Zonen bevorzugt). Nach diesem großen Unterschied im Grad der sekundären Überprägung der Zirkone an beiden Fundorten zu schließen, sollten die Zirkone von Koschach bei einer Zerfallsaltersbestimmung eher Hinweise auf das Intrusionsalter des Gesteins geben, als die in summa viel stärker metamorphosierten Zirkone von Böckstein. Durch solche Vorstudien kann der Geologe einerseits viel zur Auswahl des günstigsten Materials für die teure Altersbestimmung beitragen, andererseits für die Deutung der physikalischen Daten vorhersagen, in welchem Fall man eher mit einem Datum rechnen kann, das auf das Intrusionsalter hinweist, oder aber auf ein späteres Metamorphosealter.

Ähnlich war es auch bei 4 Proben aus den tonalitischen Gesteinen des Zillertaler-Venediger-Zuges in den Hohen Tauern, die F. KARL eher den Periadriatika anreihen möchte, als den sonstigen (älteren) Zentralgneisen. Drei der Gesteinsproben, nämlich aus der Gegend der Thüringer Hütte (leg. W. FRANK), dann oberhalb Kasern im Ahrntal (leg. FRASL) und schließlich vom Hornkees in den Zillertaler Alpen (leg. O. THIELE) hatten nicht nur eine deutliche Schieferung, Aggregate von kleineren Biotiten (Rekristallisate) und stärker gefüllte Plagioklase, sondern auch eher z. T. gebräunte (getrübt) Zirkone (auch mit Anwachssäumen) gegenüber der vierten Probe. Diese stammt von der Warnsdorfer Hütte (leg. H. HOLZER) und zeigte nicht nur bei Plagioklas und Biotit die relativ beste Erhaltung der morphologischen Erstarrungsgesteinseigenschaften; auch der Zirkon (Tracht s. S. 419) ist durch keine Trübung und keinen Anwachssaum verändert. Das heißt, er weist keine sichtbare sekundäre Veränderung gegenüber magmatischen, nichtmetamorphen Zirkonen aus Tonaliten z. B. vom Rieserferner, Adamello und Cima d'Asta auf. Es kann daraus geschlossen werden, daß unter den vier Proben noch am ehesten der Tonalit von der Warnsdorfer Hütte geeignet sein sollte, um durch eine U/Pb-Altersbestimmung an seinem Zirkon zu ergründen, ob die Intrusion alpidischen oder variszischen Alters war. Eine gewisse Vorsicht ist da freilich auch am Platz, schon wegen der zahlreichen Mikrolitheneinschlüsse im Zirkon. Andererseits aber ist der Biotit gewiß metamorph, nämlich olivgrün und entmisch, und bei ihm kann sich ein Zerfallsalter wohl nur mehr auf das Metamorphosealter beziehen.

Überblickt man schließlich die regionale Verteilung der „Trübungs“-Erscheinungen in Österreich, so ist festzustellen, daß die erste Art, der idiomorphe Schalenbau, sowohl im außeralpinen wie auch im alpinen Kristallin häufig, und ungefähr in gleichem Maße verbreitet ist. Die sekundäre Trübung (Bräunung bis Schwärzung) der akzessorischen Zirkone tritt dagegen in den Alpen und im Moravikum zwar auch noch relativ häufig auf, sie besitzt jedoch im Moldanubikum — wo die granitischen Gesteine keine epi- bis schwach mesozonale Regionalmetamorphose erlitten haben — nach meinen bisherigen Erfahrungen keinerlei Bedeutung¹⁾.

¹⁾ Eine mit den modernsten Instrumenten durchgeführte mineralogische Untersuchung von Trübungserscheinungen an Zirkonen aus Gneisen des Gotthardmassivs erschien während der Drucklegung dieser Studie in den Schweizer Min. Petr. Mitt., 43, 1963 von Marc GRÜNENFELDER: Heterogenität akzessorischer Zirkone und die petrogenetische Deutung ihrer Uran/Blei-Zerfallsalter; I. Der Zirkon des Granodioritgneises von Acquacalda. Dabei wurden u. a. die Verteilung von Zr, Hf, U und H₂O in trüben und klaren Kristallen gemessen, sowie die U/Pb-Alter beider Abarten bestimmt. Die Meßergebnisse und die geologischen Gegebenheiten dieses Raumes führten auch dort zu folgender Deutung: ein Teil der vormesozoischen, klaren Zirkone des ursprünglichen Granodiorits wurde bei der alpidischen Metamorphose getrübt und damit chemisch etwas verändert.

Wie diese Hinweise und Beispiele zeigen sollten, erschließen sich also dem einzelnen Kristallingeologen eine ganze Anzahl von minutiösen Unterschieden, sobald er die Zirkone nicht nur im Schliff, sondern aus dem Gestein herausgelöst betrachtet — Unterschiede, die für die Abrundung von petrogenetischen Untersuchungen an Gesteinen aus dem Verwandtschaftskreis um den Granit eine rasch zunehmende Bedeutung besitzen.

Kann man denn von einer neuen, zusätzlichen Beobachtungsrichtung — die sich aber günstigerweise auf das gewohnte petrographische Mikroskop stützt — noch mehr verlangen, als daß man z. B. allein schon aus den Zirkonen einer Kaolingrube so viel über das Ausgangsgestein herauslesen kann, wie etwa in Mallersbach (NÖ.)? Aus ihnen erkennt man nämlich, daß der Bittescher Gneis, der hier als Ausgangsmaterial der Verwitterung in situ diente, einmal ein echt magmatisches Gestein gewesen sein muß; denn die zwar seltenen, kleinen, aber doch sehr einheitlichen Zirkone haben einen idiomorphen Aufbau mit meist vielen ebenso idiomorphen oszillatorischen Zonen abweichender Lichtbrechung, Doppelbrechung und Trübung. Tracht: $a(m)px$ bis $a(m)xp$. Oft gibt es runde Altbestandszirkone als kleine Kerne im autigenen Zirkon, aber auch nicht öfters, als ich sie im Schärdinger Granit (O. THIELE 1962) z. B. von Gopperding gefunden habe. Das besagt für den Kenner der hiesigen Granittypen schon, wie sehr magmatisch der Bittescher Gneis bei Mallersbach in einem Frühstadium doch gewesen sein muß. In der Menge der Fremdzirkone geht er auch über jene im besten Mauthausener Granit nicht hinaus, mit dem ihn sonst noch der idiomorphe Zonarbau der Zirkone verbindet. Man sieht also auf Grund der Morphologie des Zirkons die großen petrofaziellen Übereinstimmungen in dieser und jener sehr bezeichnenden Richtung, obwohl wir wissen, daß der Gneis ein weit höheres Alter hat als die genannten Granite, und als Tektonit vorliegt — oder richtiger gesagt vorlag. Schließlich haben wir es jetzt mit einem Kaolinit zu tun, in dem jene anderen Primärminerale, die sonst in erster Linie für die Auflösung der Petrogenese herangezogen werden, praktisch restlos der Kaolinisierung zum Opfer gefallen sind. Wären hier nicht die Zirkone vorhanden und so gut erhalten, dann könnte man an diesem Material selbst nie die Frühphasen der Petrogenese erkennen.

So also kann der Zirkon zu einer der vielsagendsten Mineralarten werden, wenn der Kristallingeologe diese Chance bloß zu nutzen versteht. Die Zirkonmikroskopie übersteigt nämlich durchaus nicht seine Fähigkeiten und instrumentellen Möglichkeiten.

Literaturverzeichnis

ANDRITZKY, G.: Die Anatexis im Regensburger Wald. — N. Jb. Miner. Abh. 99, 1962.

BREWER, R.: Mineralogical Examination of a Yellow Poldzolic Soil Formed on Granodiorite. — Soil Publ. 5 Commonw. Sci. Industr. Res. Org., Australia, Melbourne 1955.

BROTZEN, O.: Die zonaren Zirkone des Ramberggranites. — Geol. Mag. 73, 1952.

FRASL, G.: Anzeichen schmelzflüssigen und hochtemperierten Wachstums an den großen Kalifeldspaten einiger Porphyrg Granite, Porphyrgnitgneise und Augengneise Österreichs. — Jahrb. Geol. B. A. Wien 97, 1954.

- FRASL, G.: Bericht 1958 über Aufnahmen auf Blatt Steyregg (33). — Verh. Geol. B. A., Wien 1959.
- FRASL, G.: Zur Entwicklungsgeschichte der granitischen Gesteinsmassen im Mühlviertel (Oberösterreich), besonders im Raum östlich von Linz an der Donau. — Manuskript 1963.
- FRASL G., FIEH W., RICHTER W. und SCHARBERT H. G.: Moravikum und Moldaubikum nördlich der Donau. — Exkursionsführer, Fortschr. Min. usw. 1964.
- GRÜNENFELDER, M. und SILVER, L. T.: Radioactive age dating and its petrologic implications for some Georgia Granites. — Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 69, 1958; S. 1574.
- HOPPE, G.: Die akzessorischen Schwerminerale in Eruptivgesteinen am Beispiel des Ramberggranites und anderer Harzer Gesteine. — *Geologica* 9, Berlin 1951.
- HOPPE, G.: Über die Verwendbarkeit der akzessorischen Zirkone zu Altersbestimmungen. — Neues Jahrb. Miner. Abh. 93, Stuttgart, 1959.
- HOPPE, G.: Die Verwendbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen. — Abh. dtsh. Akad. Wiss. Berlin, Klasse f. Bergbau usw. Jahrg. 1963.
- KRAUS, G.: Gefüge, Kristallgrößen und Genese des Kristallgranites I im Vorderen Bayerischen Wald. — N. Jb. Miner., Abh. 97, Stuttgart 1962.
- KRUMBEIN W. C. und PETTJOHN F. J.: *Manual of Sedimentary Petrography*. — Appleton Century Crofts, Inc. N. Y. 1938.
- MARSHALL C. E. und HASEMAN, J. F.: The quantitative evaluation of soil formation and development by heavy mineral studies. — Proc. Soil Sci. Soc., Amer. 7, 1942.
- MARSHALL C. E. und JEFFRIES C. D.: *Mineralogical methods in soil research: Part I*. — Proc. Soil. Sci. Soc. Amer., 10, 1945.
- MAUCHER, A.: Über regelte Plagioklaseinschlüsse im Orthoklas. — Z. Krist., A 105, 1943.
- POLDERVAART, A. und ECKELMANN, F. D.: Growth phenomena in zircon of autochthonous granites. — Bull. Geol. Soc. Amer. 66, 1955.
- RANKAMA, K. und SAHAMA, J. G.: *Geochemistry*. — Univ. of Chicago Press, 1950.
- RINNE F. und BEREK M.: Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop, 2. Aufl. umgearbeitet von C. H. CLAUSEN, A. DRIESEN und S. RÖSCH. — Stuttgart 1953.
- SLAVIK J.: Heavy Minerals from the Weathered Material of the Eastern Part of the Pluton of Central Bohemia (Tschechisch mit englischem Summary). — Sborník SGÚ XIX, Prag 1952.
- THIELE, O.: Neue geologische Ergebnisse aus dem Sauwald (OÖ.). — Verh. Geol. B. A., Wien 1962.
- TRÖGER, W. E.: Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, — Schweizerbart, Stuttgart 1952.