

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

*Wissenschaftlicher Film C 760/1958*

Aus dem Mineralogisch-Petrologischen Institut  
der Universität Münster (Westf.)  
(Direktor: Prof. Dr. H. SEIFERT)

**Bildung von Kristallaggregaten**

Von  
Prof. Dr. H. SEIFERT

Mit 7 Abbildungen

GÖTTINGEN 1959

Aus dem Mineralogisch-Petrologischen Institut  
der Universität Münster (Westf.)  
(Direktor: Prof. Dr. H. SEIFERT)

## **Bildung von Kristallaggregaten**

Von Prof. Dr. H. SEIFERT

Der vorliegende Farbfilm<sup>1)</sup> befaßt sich in mikrokinematographischen Aufnahmen mit dem Wachstum von Kristallaggregaten: Charakteristische Aggregatbildungen von blättchenförmigen, nadeligen und stengeligen Kristallen, gekrümmte Formen, parallelfasrige Aggregate sowie ebene „Sphärolithe“ (auch mit Zwei- und Mehrblattsystem). Sinnvoll ist die Darstellung nur für solche Aggregationen, die ein Gesetz oder doch Regeln der Anordnung der Individuen innerhalb der Gruppen und zueinander erkennen lassen. Die besonders bekannten Zwillingsbildungen sind hier nicht einbegriffen.

### **I. Allgemeine Vorbemerkungen**

#### **Über Kristallaggregate und die genetischen Probleme ihrer Bildung**

Unter gleichen Bedingungen im gleichen Wachstumsraum sich bildende Kristalle stoßen, besonders wenn sie an dessen Grenzflächen angeheftet sind, bei Vergrößerung schließlich zusammen. Beim Weiterwachsen stören sie sich dann, wobei sie sich vielfach unter Ausbildung neuer Kompromißflächen aneinanderlegen und ein „Kornaggregat“ ergeben. Im allgemeinen ist die Verknüpfung eine beliebige und somit trivial. Interessant werden die Verhältnisse erst, wenn ein Gesetz der Verwachsung abgeleitet werden kann oder doch Regeln der Anordnung der Einzelindividuen innerhalb der Aggregationen erkennbar sind, die zugleich mit einer nach der Statistik unwahrscheinlichen Häufigkeit ihres Auftretens verknüpft sind. Es handelt sich dann also um charakteristische, wiederkehrende Typen von Aggregationen und Texturen, die irgendwie engstens mit der Keimbildung zusammenhängen und daraus ihre Deutung finden müssen, und die im ganzen bisher eine verhältnismäßig stiefmütterliche Behandlung in Mineralogie und Kristallographie erfahren haben. Es müssen dabei neben den „inneren“ Faktoren (der jeweiligen Baugesetze des vorliegenden Stoffes) auch stets die

---

<sup>1)</sup> Die einfachsten Grundvorgänge des Kristallwachstums finden sich dargestellt in dem wissenschaftlichen Film C 621/1952 des Instituts für den für den Wissenschaftlichen Film.

„Milieufaktoren“ mit berücksichtigt werden. Praktisch kann man diese weitgehend dadurch auszuschalten versuchen, daß man definierte konstante Wachstumsbedingungen des reinen Stoffes schafft. Bei der theoretischen Erörterung kann man sie dann zunächst beiseite lassen.

Länger erklärt sind Aggregattexturen in Fällen der gebundenen, d. h. an irgendwelchen Grenzflächen des Wachstumsraums entwickelten Keimbildung. Sei beispielsweise auf einer ebenen Unterlage ein „Keimrasen“ beliebiger Orientierung entstanden, dann wirkt bei dem einseitigen Fortwachsen unter nur von oben her möglicher Stoffzufuhr das zuerst schon von O. MÜGGE [6]<sup>1)</sup> erkannte geometrische „Keimausleseprinzip“ so, daß dieser Keimrasen sich mehr oder weniger schnell über ein vergrößertes Kornaggregat zu quasi parallelfasrigen Aggregaten entwickelt; in dem gegenseitigen Konkurrenzkampf unterdrücken diejenigen Kristalle, die besonders „günstig“ mit einer maximalen W. G. (Wachstumsgeschwindigkeit) zur Normale der Unterlage gelegen sind, die anderen stufenweise völlig. Die xenomorph begrenzten Stengel weisen dabei eine gewisse, mehr oder weniger geringe Streuung jener bevorzugten Wachstumsrichtung  $[uvw]$  auf.

Ein schematisches Bild (Abb. 1) erläutert diese „aktive Wachstumsregelung“ nach einer Darstellung von R. GROSS und H. MÖLLER, während Abb. 2 die praktische Durchführung an einer Salolmelze (Original) zeigt. Viele fasrige Kluftausfüllungen in der Natur gehören hierher, ebenso Fasertexturen elektrolytischer Metallabscheidungen, die Textur der Randzone metallischer Gußblöcke u. a. Ähnlich gestaltet sich die Herausbildung fasriger Ausblühungen auf porösen Unterlagen. Ein schwächeres, unvollständiges Abbild dieses Vorgangs ist die „Drusenregel“. Sie zeigt die entsprechende Erfahrung für einen sehr wenig dichten, schwach besetzten Keimrasen derart, daß man, z. B. bei Quarz in der Natur, in Hohlräumen einen lockeren Wandbesatz vorfindet, bei dem mit größerer Streuung (etwas „wirrstrahlig“) die Richtung  $[uvw]$  — beim Quarz ist es die kristallographische  $c$ -Achse; die Kristalle sind bekanntlich hexagonale Prismen — //  $c$ -normal zur Wand liegt.

Würde die Wandung eines kugelförmigen Hohlraums als Ansatz eines vollständigen Keimrasens aus Schmelze oder Lösung fungieren, so müßte ein Stengel- bis Faseraggregat entstehen, dessen Einzelindividuen unter idealen, konstanten Wachstumsbedingungen nahe dem Zentrum allseitig zusammentreffen. Das entstandene Gebilde wäre ein „Sphärolith“ (mit „zentripetaler“ Wachstumstendenz).

Je ausgeprägter die Anisotropie des Wachstums bei einer Kristallart, in Abhängigkeit von ihrer Struktur, ist, um so idealer kann die zustande kommende Gefügeregelung sein, d. h. um so geringer die Streuung von  $[uvw]$  um das Lot der jeweiligen Grenzfläche.

Die beschreibende Mineralogie hat seit langem aus der Natur ganz systematisch andere Erscheinungsformen gesammelt und gesichtet,

<sup>1)</sup> Siehe Literaturverzeichnis am Ende des Textes.

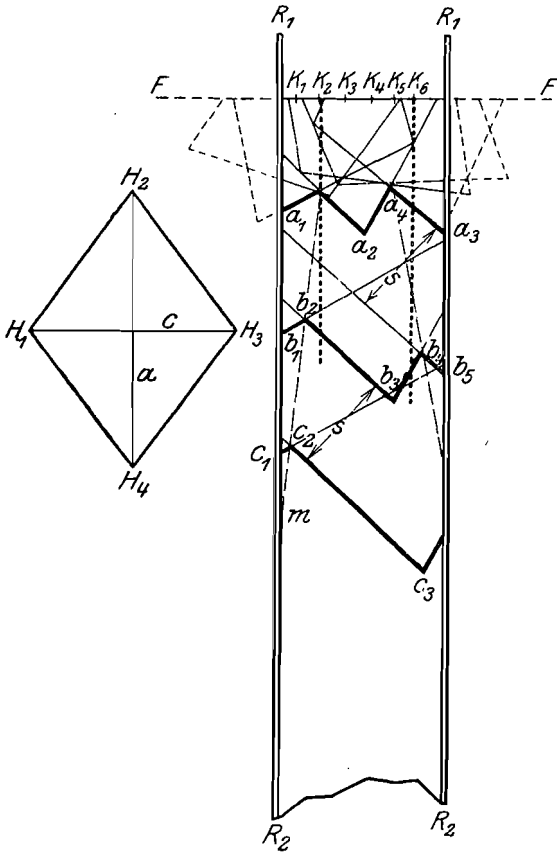


Abb. 1. Zweidimensionales Modell der geometrischen Keimauslese, für Salol gezeichnet und für den Bereich eines röhrenförmigen Hohlraums durchgeführt  
(Nach GROSS und MÖLLER)

freilich nicht gedeutet, die als charakteristische Aggregationen oder auch als „Formen höherer Ordnung“ gekennzeichnet seien. Gleiche Formen haben sich auch bei den Kristallisationsprozessen im Laboratorium erzeugen lassen.

Es handelt sich dabei um mehr oder weniger lockere Aggregationen von Kristallen, die nach alter Erfahrung artspezifisch, dabei zugleich nicht unabhängig von den besonderen Bildungsbedingungen sind. Da von diesen Kristalltracht und -habitus abhängen, ist das Auftreten der spezifischen Aggregierungsart verknüpft mit einer besonderen habituellen Erscheinung der Kristalle der betreffenden Art.

Einige Beispiele: Ist der Habitus des Einzelkristalls ein stenglicher oder nadliger, so sind sehr häufig mehrere oder viele solche, von einem anscheinend gemeinsamen Zentrum ausgehend, zu Büscheln oder Garben unterschiedlichen Umfangs vereinigt. Der Divergenzwinkel des Bereichs kann ein sehr verschiedener, mehr oder weniger spezifischer für eine Art bzw. die speziellen Bildungsbedingungen sein. Er kann bis  $360^\circ$  gehen, wobei in gelegentlichen Fällen das Büschel in einer Ebene verbleibt (Wavellitrossetten, Turmalinsonnen in der Natur), sonst zu igel- oder morgensternähnlichen Aggregationen führt. Bei taflig-blättrigem Habitus des Einzelkristalls beobachtet man meist anderes: die Tafeln können zu Fächern vereinigt sein, wobei der Zusammenhalt längs einer gemeinsamen, für alle Individuen kristallonomisch gleichen Kante gewährleistet ist. Die Blätter können auch in räumlich etwas komplizierterer Schachtelung, etwa wie die einer entfalteten gefüllten Blüte, verbunden sein. Solche Aggregate werden meist mit einer Rose verglichen (z. B. „Eisenrosen“ von Eisenoxyd [Abb. 3]), da sich meist eine gewisse Krümmung (vgl. weiter unten) des Einzelkristalls wie dort damit verknüpft. Die Verwachsung der Kristalle der Gruppen liegt dort, wo sich vergleichsweise bei der Rose der Blütenboden, der Stielansatz befindet. Diese Aggregationen sind für die Arten häufig wiederum so typisch und im Vorkommen so relativ eng begrenzt wie die Habitus und Trachten, so daß sie wie diese als charakteristische Merkmale einer Lagerstätte oder eines Lagerstättentypus vom Mineralogen zu bewerten sind.

Eine allgemeine einheitliche Ursache aller dieser Aggregierungstendenzen und der entstehenden „Formen höherer Ordnung“ ist bisher nicht gegeben und kann wohl auch nicht gegeben werden. Liegt sie doch engstens beschlossen in der viel undurchsichtigeren Keimbildung nach Art und Bildungsfaktorenabhängigkeit. Neuere Überlegungen enthalten fruchtbare Ansätze einer Deutung und führen auf wichtige unterschiedliche Typen der Keimbildung, freilich oft noch ohne eindeutige Zuordnung der Aggregierungstypen.

Zunächst wäre zwischen der freien und der gebundenen Keimbildung zu unterscheiden. Daß ein einzelner Keim, frei im Wachstumsraum entstanden, verantwortlich zu machen sei für die kurz gekennzeichneten lockeren Aggregationen, bleibt unverständlich. Aber die Annahme einer Mehrkeimbildung im Keimbezirk verpflichtet zur Erklärung der art-spezifischen bzw. habitusspezifischen Gruppierung der geometrisch definierten Konfiguration, auch gerade der lockeren Formen gegenüber etwa „zentrifugal“ gebildeten, drei- oder auch nur zweidimensionalen Sphärolithen, wie wir sie beispielsweise als das typische Entglasungsphänomen bei Gläsern kennen. Nur kurz hingewiesen werden kann auf das wachstumskinetische Problem, daß — für eine Reihe von Arten, so übrigens auch bei Hochpolymeren — die Richtung der Faserachse der Einzelfasern dieser Sphärolithe, als der sichtlich schnellst wachsenden Richtung, gar nicht die bei normalem Einzelkristallwachstum erkennbare Richtung maximaler W.G. ist, sondern senkrecht dazu steht, d. h.

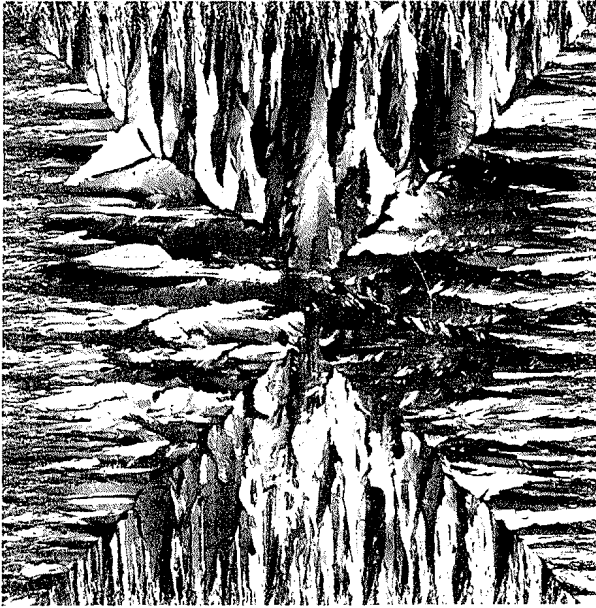


Abb. 2. Faseraggregat bei Auskristallisation einer unterkühlten Salolmelze, die am gesamten Deckgläschenrand geimpft war

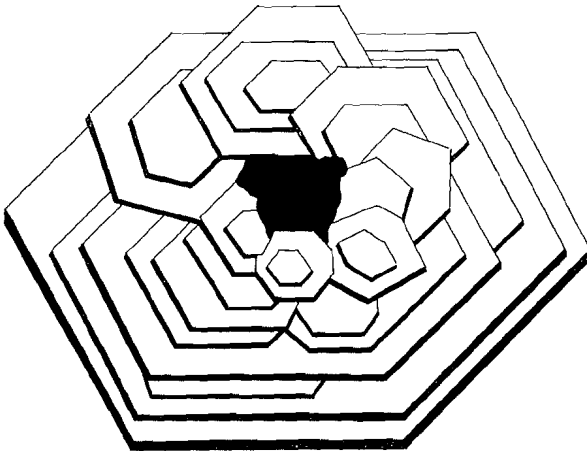


Abb. 3. „Eisenrose“ vom St. Gotthard  
(Umgezeichnet nach dem Kristallatlas von V. GOLDSCHMIDT)

die — nach üblicher Vorstellung — schnellst wachsende Kette dicht gepackter Gitterbausteine der Struktur senkrecht zur Faser, tangential im Sphärolithen liegt.

Um alle diese Phänomene im einzelnen zu deuten, sind offenbar noch viele quantitative Ermittlungen über die gekennzeichneten Einzelheiten bei vielen Kristallarten erforderlich, sind Beziehungen zur Struktur der Arten zu suchen, um zu allgemeinen Schlußfolgerungen zu gelangen. Die Deutung eines Sphärolithen mit zentrifugaler Wachstumstendenz aus einem einfachen Mehrkeimbezirk erscheint noch — zumal angesichts der besonderen Feinheit ihrer Faserstruktur — allzu bequem und unvollkommen. Allerdings gibt es Übergangsgebilde, in Analogie zu der Verwirklichung der „Drusenregel“ gegenüber einem zentripetal gewachsenen Sphärolithen, die wie die Turmalinsonnen oder die Wavellit-Rosetten so deutbar sind.

Eine tiefere Überlegung gibt für einige Fälle den Weg für eine ganz andere Möglichkeit frei. Das Auswachsen eines Kristalls führt, je länger, je mehr, im allgemeinen zu einer subparallelen Blockbildung. Die Ursache für die Entstehung eines solchen „Realkristalls“ ist allgemein in Störungen durch Verunreinigungen, somit in der Bildung von Fehlstellen zu suchen. Bei genauerer Prüfung erweist sich diese Fehlstellenbildung als ein strukturabhängiges, anisotropes Phänomen. Ein Beispiel: ein stenglig oder nadlig gestalteter Kristall zeigt im Wachstumsverlauf eine Zerteilung derart, daß eine charakteristische, sich langsam steigernde „Zerfaserung“ sichtbar wird. Das kann man leicht auch röntgenographisch verfolgen.

Ein schematisches Bild der Erscheinungen gibt Abb. 4 für einen rhombischen, von seinen drei Pinakoiden begrenzten Kristall. Man kann das als eine „repetierende“ Keimbildung auffassen. Geschieht sie in relativ groben Schritten hinsichtlich der Orientierungsabweichung nach

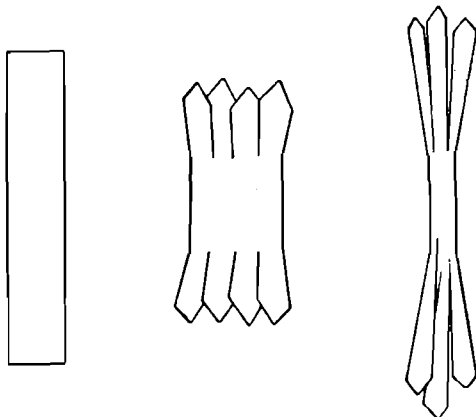


Abb. 4. Zerfaserung eines rhombischen Kristalls

zwei Seiten oder gar räumlich nach allen Richtungen um die Achsenrichtung des Stengels herum, so würden etwa garbenförmige Aggregate entstehen. Diese wären also als eine gebundene, gelenkte Keimbildung gedeutet. Die Lenkung kann in der strukturgebundenen Störung der strukturabhängigen spezifischen Fremdstoffadsorption im Sinne neuerer Theorien gesehen werden. Wie weit auch in anderen der oben aufgeführten Fälle diese Theorie der spezifischen Grenzflächenadsorption definierter Verunreinigungen (Lösungsgenossen usw.), die Strukturverwandtschaft beider voraussetzt, zur Deutung herangezogen werden kann, wäre durch geeignete synthetische Laboratoriumsuntersuchungen zu klären.

Hier scheint die Anknüpfung einer ganz anderen Erscheinung zwanglos gegeben. In wertvollen älteren Arbeiten (französische Schule, B. POPOFF) sind bei den zentrifugalen „Strahlungskristallisationen“ früher recht unterschiedliche Typen in unzulässiger Weise vermengt worden. Eine schärfere begriffliche Trennung der Keimbildungsfaktoren gestattete neuerdings hier einen wichtigen Fortschritt (J. LEONHARDT nach F. BERNAUER und ähnlich z.T. schon POPOFF), nämlich die Zurückführung der merkwürdigen, bisher wenig verstandenen „Zweiblätter“ innerhalb sphärolithischer Aggregierungsformen, der „Pseudosphärolithe“. Folgt

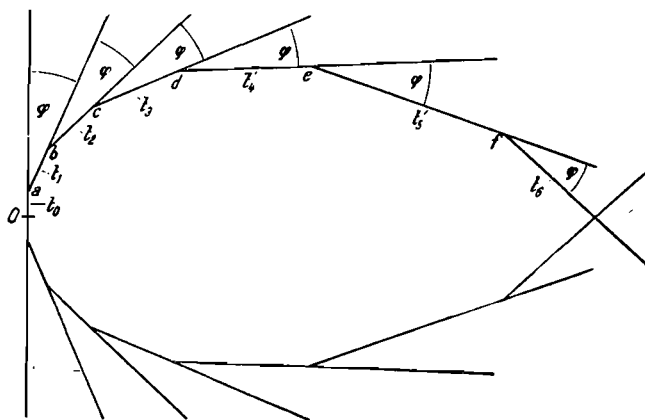


Abb. 5. Entstehung eines „Zweiblattes“  
bei einem Pseudosphärolithen  
(Nach LEONHARDT)

man LEONHARDT in der Zeichnung eines ebenen, doppelseitigen symmetrischen Polygonzuges nach einer Vorschrift (vgl. Abb. 5)  $t_n = t_0 \cdot c^n$ ,  $\varphi = \text{const.}$ , ( $c > 1$ ), so entsteht als ein Innenraum je ein solches „Blatt“. Seien  $O$  und die „Verzweigungspunkte“  $a, b, c, \dots$  Punkte einer „repetierenden Keimbildung“ („mit einem gesetzmäßigen Nacheinander“ — wobei nur dieses Gesetz de facto noch ungeklärt scheint, vielleicht



indes einfach aus einem Rhythmus der Fremdadsoption an der jeweils wachsenden Grenzfläche hergeleitet werden kann), so entstehen sich aneinanderlagernde „Strahlen“ von Kristallen. Diese Außenstrahlen ergeben bei größerer Feinheit und dichtester Packung auf Grund dieses Spreitungsmechanismus eine sphärolithische Textur. Die Pseudosphärolithe wären eindeutig abgetrennt von den „echten“ Sphärolithen, falls diese nicht, was aber unglaubwürdig erscheint, nach dem gleichen Bildungsmechanismus, doch nur mit einem auf einen submikroskopischen Bereich geschrumpften Innenblattbezirk, gedeutet werden sollen.

Das aufgezeigte Verzweigungsprinzip kann auch zum Verständnis der sog. „gekrümmten“ Kristallaggregate herangezogen werden, deren viele aus der alten beschreibenden Mineralogie bekannt und als sehr charakteristisch für bestimmte Mineralarten berühmt geworden sind. Erinnerung sei an hahnenkammförmige Gruppen bei Schwerspat, Prehmit, Markasit, an die bündelförmigen Gruppierungen bei Zeolithen u. a. (vgl. Abb. 6). Bei genügender Kleinheit der aneinander gereihten „Subindividuen“ oder Elementarblöcke — sei es nun zweidimensional oder räumlich — werden dann kontinuierliche Krümmungen der Kristallflächen vorgetäuscht.

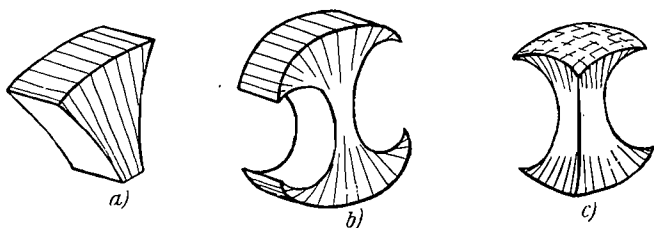


Abb. 6. Gekrümmte Aggregate  
a) Baryt, b) und c) Bündelzeolithe

Wenn eine charakteristische Symmetrie der Kristallstruktur eine räumliche Zerteilung und Angliederung von Elementarblöcken längs einer Schraubenlinie ermöglicht, so entstehen Gebilde wie die der berühmten „gewundenen“ Quarze, mit einem rechten und einem linken Windungssinn (Abb. 7). Von hier ist es nur ein kleiner Schritt zu einer anderen sehr eigenartigen Erscheinung, die in Sphärolithen auftritt.

Bei einer großen Zahl solcher ist jede einzelne Faser (oder vielleicht auch ein Paket miteinander engst verknüpfter Fasern) wie ein solcher Quarzkristall aufgebaut, nur daß die Ganghöhe der Windung eine vielfach kleinere als dort ist, so daß „gedrillte“ Fasern entstehen. Über die Vorbedingungen einer solchen Faserdrilling herrscht noch immer

keine volle Klarheit. Meist findet man die Erscheinung bei organischen Substanzen mit asymmetrischem, optisch-aktivem Molekül; vielfach kann sie bei der reinen Substanz nicht, sondern erst bei Hinzufügung

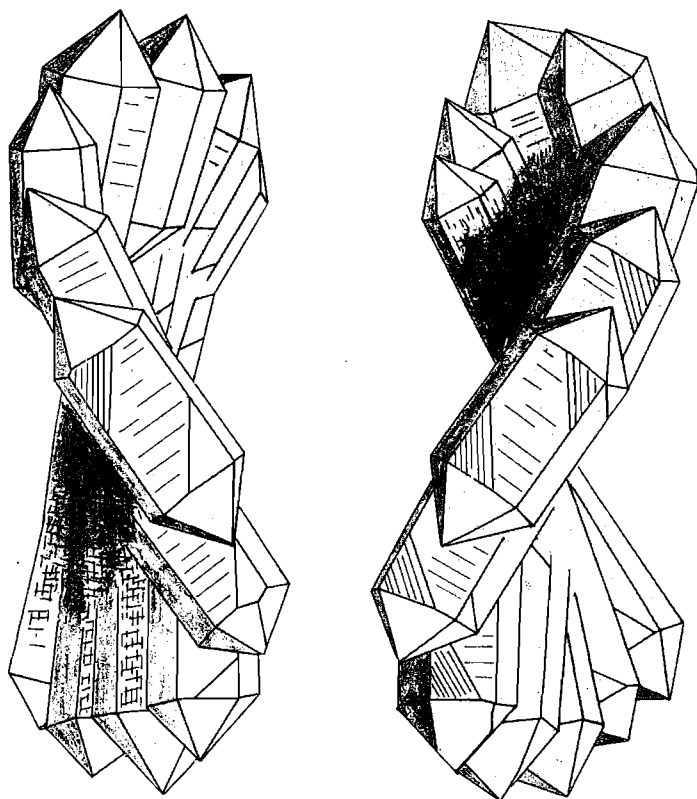


Abb. 7. Gewundene Quarze  
(Umgezeichnet nach dem Kristallatlas von V. GOLDSCHMIDT)

gewisser, oft definierter fremder Verunreinigungen zu deren Schmelze erzeugt werden. Dies leistet einer Anschauung wiederum Vorschub, die die Faserdrilling mit selektiven Adsorptionsprozessen in Zusammenhang bringen möchte.

## II. Erläuterungen zum Film

Zur Erzielung einer optimalen und auch ästhetisch befriedigenden Darstellung bei der Verwendung des Farbfilms<sup>1)</sup> mußten besondere

<sup>1)</sup> Verwendet wurden Agfacolor-Filme, für deren Spende wir der Agfa, Leverkusen zu besonderem Dank verpflichtet sind.

optische Hilfsmittel eingesetzt werden. Es sind dies die üblichen des mikroskopierenden Kristallographen und Mineralogen, deren Methodik als bekannt vorausgesetzt werden muß, nämlich die Durchstrahlung mit linear polarisiertem Licht, die Verwendung von gekreuzten Nicols (Polarisatoren) zur Erzeugung von Interferenzfarben (deren Schwingungsrichtungen verlaufen, sofern nichts anderes vermerkt ist, parallel den Bildseiten) und von Hilfsblättchen zwecks Änderung der Gangunterschiede, meist eines „Gipsblättchens vom Rot I. Ordnung“. Das Gesichtsfeld mit der homogenen, optisch isotropen Lösung oder Schmelze, aus der die Kristallisation erfolgt, ist bei gekreuzten Nicols (im weiteren abgekürzt: + Nic.) dunkel. Die sich bildenden Kristalle erscheinen in den von ihrer Lage, Dicke und optischen Orientierung abhängigen Interferenzfarben und ergeben so die mehr oder weniger farbenprächtigen Bilder des Films. — Wie weit bei der Vorführung des Films auf solche optischen Feinheiten einzugehen ist, hängt von der Vorbildung der Beschauer ab und muß jedem Benutzer in seinem Unterricht überlassen werden. Im allgemeinen wird man wohl in einem Kolleg über allgemeine Kristallographie das Kristallwachstum an erheblich früherer Stelle als die Kristalloptik besprechen, eine kleine didaktische Schwierigkeit für die Benutzung des Films an dieser wohl zunächst gewünschten Stelle.

Eine Erschwerung der Aufnahmen liegt, soweit es sich um das Wachstum in Lösungen handelt, einmal in den sehr unterschiedlichen Lichtbrechungsverhältnissen von Kristallen und Lösungen, zum anderen in einer mangelnden Schärfe der abgebildeten Objekte, die in Kauf genommen werden muß. Denn diese sind ja räumliche Gebilde, die sich zudem ständig dreidimensional vergrößern — somit mit ihren in die Bildebene projizierten Umrissen in stets veränderter Ebene liegen —. Im allgemeinen sind sehr schwache Bildvergrößerungen angewendet, so daß diese Erschwerungen so wenig wie möglich wirksam sind.

\*

Auf Grund freier Keimbildung im Wachstumsraum können aus dem Gebiete mikrochemischer Fällungsreaktionen verschiedene Typen lockerer Aggregationen vorgeführt werden, die eine bekannte Typenabhängigkeit von dem von den Bildungsbedingungen wiederum abhängigen morphologischen Typus des Einzelkristalls zur Schau tragen.

### *Charakteristische Aggregatbildung blättchenförmiger Kristalle<sup>1)</sup>*

Die Fällung des blauen, beträchtlich absorbierenden tetragonalen Kobalt-Quecksilber (II)-Rhodanids aus vermischten Tropfen warmer und sich abkühlender Lösungen geeigneter Konzentration in der ersten Bildserie zeigt die Bildung charakteristischer wirrstrahlig-büscheliger Gruppen taflig-blättriger Kriställchen bis zu mehr dünnblättrigen

<sup>1)</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Nädelchen von einem Zentrum aus, sogar unter Deckglasbedeckung. Die Aufnahme erfolgte bei + Nic. mit Gips Rot I. Eine gewisse Beeinträchtigung der Interferenzfarben durch die Eigenfarbe der Kriställchen (Absorption) ist zu beobachten.

Von gleicher Gruppencharakteristik ist die analog, doch bei Zimmertemperatur und ohne Deckglasbedeckung durchgeführte, auch bei + Nic. mit Gips Rot I aufgenommene Fällung von Lanthansuccinat-Hydrat der zweiten Serie. Der Vergleich beider läßt die Aussage zu, daß sie dennoch eindeutig reproduzierbar und erkennbar unterschiedlich sind. Das liegt nicht nur an der Morphologie der beteiligten Einzelindividuen, sondern auch an dem Habitus der Aggregation in dieser „Form höherer Ordnung“.

Einmal sieht man deutlich, wie an ein einzelnes bereits größeres Blatt fortlaufend neue Keime ansetzen. Zur Deutung der Genese möchte man eher an eine „Verzweigung“ denn an einen polykristallinen Keimhaufen denken, wenn man auch noch keine Regel der Zerteilung erkennt.

Die monoklinen Blättchen dieses Hydrats, die hier aus zunächst lanzettförmigen, verrundeten platten Spießen erst auswachsen, sind übrigens nicht stabil und werden mehr oder weniger schnell pseudomorphosiert durch ein wahrscheinlich wasserärmeres Hydrat in feinfasrigen Aggregaten. Vermutlich sind die in dem einen Bild fast gleichzeitig erscheinenden zarten, dendritischen Bäumchen das gleiche.

### *Gruppierungen von nadeligen bis stengeligen Kristallen*

Wenn man in eine leicht angesäuerte, verdünnte Silbernitratlösung ein Kristallsplitterchen von Kaliumdichromat legt, so kommt eine topochemische Reaktion zustande. Es bildet sich blutrotes, triklines Silberpyrochromat  $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Aus der mikrokristallinen Keimzone um den Splitter herum entwickelt sich schnell ein morgensternartiges Aggregat dünnblättriger Spieße. Diese vermehren sich stetig und vergrößern sich; sie bilden schnell einen immer dichteren Pelz um den sich durch Auflösen ständig verkleinernden Kern. Die tiefrote Eigenfarbe überdeckt alle Interferenzfarben (bei + Nic.!) weitgehend. (Bei langsamer Kristallisation aus schwach salpetersaurer Lösung bilden sich übrigens taflige Einzelkristalle und sperrige Durchwachsungen, deren gleichfalls charakteristisches Gefüge durch den Habitus der Kristallblättchen vornehmlich bestimmt wird.) In beiden Fällen erscheint eine Richtung maximaler W. G. (als lange Diagonale eines „Schieblatts“) ausstrahlend vom Kristallisationszentrum. So zeigen die Spieße morphologisch dementsprechend eine mittlere Verdickung und eine Zuspitzung zum inneren und zum äußeren Ende hin.

### *Sternförmige Gruppierung*

Sternförmige Gruppierungen, die einem Mikrokeimhaufen ihre Entstehung verdanken können, erzielt man besonders günstig bei stengeligen, nadeliger Gestalt des Einzelkristalls, der also eine sehr ausgeprägte

Richtung maximaler W.G. besitzt. Im Film ist das dargestellt am bläulichen Glykokoll-Kupfer (Kupferglycinat). Man verfolgt im Bild (bei + Nic. mit Gips Rot I) das schnelle Fortwachsen jeder Einzelnadel dieses aus dem Zentrum herauschießenden, morgensternartigen oder igelförmigen Aggregats. Ganz spärlich ist der Ansatz neuer Stacheln außen an den Stengeln (entsprechend einer Verzweigungstendenz). Die Auskristallisation erfolgte aus stark ammoniakalischer Lösung unter Deckglas; außerdem war die Lösug 2% gelatinehaltig zum Zwecke einer Wachstumsverzögerung. — Die Absorption stört im großen und ganzen nicht stark!

### *Garbenförmige Verzweigung*

Das besprochene Prinzip der Verzweigung, also die fortschreitende Neukeimbildung unter steigender Divergenz gegenüber dem Ausgangskristall, kann zu sehr verschiedenen Texturen führen. Die nächste Bildserie zeigt am monoklinen Strontiumchromat mikrochemischer Fällung bei Zimmertemperatur unter Deckglas, wie für ein spärliches, für die Struktur sichtlich charakteristisches Ausmaß einer frühen Verzweigung das bekannte Bild garbenförmiger Büschel zustande kommt. Die Aufnahme erfolgte unter Deckglas bei + Nic. und Einschaltung eines  $\frac{5}{8}$   $\lambda$ -Glimmerblättchens. In den Garben markiert sich gut durch eine stärkere Längung nach der Richtung der Verzweigungsachse der intakte Kernkristall, im Bild durch eine hellgelbe Farbe ausgezeichnet.

### *Gekrümmte Aggregate*

Für gekrümmte Wachstumsaggregate sei nur ein interessantes Beispiel gezeigt. Man verfolgt (bei + Nic. mit Gips Rot I), wie sich aus einem Kernkristall prächtige S-förmige Gestalten mit starker fiedriger Verzweigung entwickeln. Statt oder vielleicht auch neben einer nur sehr beschränkten Zerteilung wie vorher, einer seitlichen strukturgelenkten Sprossung, geschieht hier das Fortschreiten in einer durch eine relativ große W.G. ausgezeichneten Richtung gewissermaßen durch Aufstockung sich nur scheinbar stetig unter einer strukturgegebenen, leichten, einseitig gerichteten Divergenz anbauender Elementarkriställchen oder -blöcke, wobei sich zusätzlich unter weiterer Krümmung der Divergenzwinkel — in Abhängigkeit etwa von den sich stetig ändernden Übersättigungsverhältnissen der Lösung — ändern kann.

Es handelt sich im vorliegenden Fall um ein Strontiumjodat-Hydrat. Die Bildungsbedingungen dieser aus zusammengetropften Lösungen (unter Deckglas) entstehenden Aggregate sind, durch viele Vorversuche ermittelt, sehr begrenzte. Unter anderen Bedingungen erzielt man z. B. zarte Prismen mit S-förmiger, einseitiger und entgegengesetzt gerichteter Abbiegung infolge schwacher Verzweigung an den Enden der Achsenrichtung maximaler W.G. („hakenartige Verkrümmung der Kristallspitzen“). Als Übergangsformen erscheinen garbenförmige Aggregate

der Prismen mit gekrümmten Enden! Alles das steht in Zusammenhang mit einer charakteristischen, die Erscheinung der Enantiomorphie ermöglichenden Symmetrie der Struktur.

### *„Aktive Wachstumsregelung“ in parallelfaserigen Aggregaten*

Die gebundene Keimbildung an beliebigen, festen Grenzflächen des Wachstumsraumes kann verschiedenartige Folgen für das Wachstum haben und entsprechend verschiedene Texturen zeitigen. Zunächst ist dem Film die vorher besprochene sog. aktive Wachstumsregelung mit der Herausbildung eines parallelfasrigen Stengelaggregats eingefügt. In der Bildserie handelt es sich um die Kristallisation einer wenig unterkühlten Schmelze des rhombischen Salols, bedeckt von einem Deckgläschen und angeimpft an einem Deckglasrand. Aus dem an diesem Rand sofort entwickelten Keimrasen — er ist bei der zu wählenden schwachen Vergrößerung nicht gut zu erkennen — entwickelt sich durch geometrische Keimauslese ein sich schnell vergrößerndes und in ein mehr oder weniger ideales parallelstengeliges, monoton fortschreitendes Faseraggregat übergehendes Korngemenge. Spätere Störungen durch Neukeimbildung an der Wachstumsfront treten hier nur untergeordnet auf, was für die gute Konstanz der Bedingungen spricht. Die Begrenzung der einzelnen Stengel an der Wachstumsfront durch die Bipyramidenflächen ist gut zu sehen; eine morphologische Hauptachse (b) ist sichtlich die Richtung maximaler W. G. Die Aufnahme erfolgte bei + Nic. Die Schwingungsrichtung dieser Polarisatoren liegt indes hier unter  $45^\circ$  zu den Bildrändern!

Man beachte auch das Verhalten von Gasbläschen in der Schmelze, das BERNAUER vor langen Jahren eingehend studiert hatte. Hier tritt im wesentlichen eine Selbstreinigung der Kristalle derart auf, daß die Bläschen vor der Kristallisationsfront hergeschoben und, bis zu einer gewissen Größe durch Sammlung angewachsen, an die Korngrenzen gedrängt, dort noch eine Zeitlang unter Veränderung ihrer Form mitgeschleppt und ausgezogen werden, während das Spiel inzwischen bereits von neuem begonnen hat.

### *Zentrifugale und zentripetale Bildung ebener „Sphärolithe“*

Die sphärolithischen Aggregationsformen können zweckmäßigerweise in der Form „ebener“ Sphärolithe vorgeführt werden, die bei geeigneter gelenkter Kristallisation aus einer zwischen Objektträger und Deckglas befindlichen Schicht einer Schmelze entstehen (stets bei + Nic. aufgenommen).

Sie sind im Schrifttum schon mehrfach abgebildet. Eine sehr feinfasrige Textur entsteht durch zentrifugales Wachstum, wenn man die unterkühlte Schmelze von  $\alpha$ -Naphthylamin zentral impft. Bei den hier gezeigten beiden Versuchen wurde nur ein Druck auf das Deckgläschen ausgeübt. Mit dieser etwas groben Manipulation und den dadurch hervorgerufenen Inhomogenitäten der Schmelzschicht können

die nach außen steigenden Interferenzfarben der Fasern wie auch der Mangel eines gut konzentrischen Baus der Farbenfolge allein ihre Erklärung finden. Man achte auch auf das Verhalten der eingeschlossenen Bläschen!

Das durchgeführte Experiment läßt Zweifel aufkommen an der bequemen und verbreiteten Deutung der sphärolithischen Textur durch einen zentralen mikrokristallinen Keimhaufen und die Wirkung geometrischer Keimauslese.

Impft man die unterkühlte Schmelze von Salol an der sich außerhalb des Gesichtsfeldes befindlichen kreisförmigen Umrandung des Deckgläschens, so entwickelt sich, wie die nächste Aufnahme zeigt, aus dem Keimrasen eine radialstrahlige, auf das Zentrum hin gerichtete Kristallisation. Dort findet sie, evtl. unter Hinterlassung eines kleinen Hohlraums, ihr Ende. Störungen in Gestalt kleiner, neuer, sich einschiebender divergentstrahliger Faserbündel an der infolge des Impfprozesses und Keimrasenbildung weniger gut kreisförmig fortschreitenden Wachstumsfront sind hier ziemlich reichlich sichtbar. Mehr gegen Ende der Kristallisation hin treten ebenfalls kleine, vielleicht auch an restlichen Verunreinigungen angereicherte Bläschen auf, die als ausgezogene Linien, doch hier nicht nur an Kristallgrenzen gebunden, erhalten bleiben.

### *„Sphärolithe“ mit Faserdrilling*

In einer Schmelze von Benzoin mit einem kleinen Zusatz von Colophonium entstanden gleichzeitig mehrere ihrem Wesen nach unbekannte Kristallisationszentren, die sich beim Auswachsen zu ebenen Sphärolithen in der unter Deckglas gehaltenen Schmelze wie vorher entwickelten. Nach dem Zusammenstoß bilden sie beim Weiterwachsen Kompromißgrenzflächen. Daß diese sich vorwiegend als fast gerade Linien abzeichnen, bezeugt die befriedigende Konstanz der Wachstumsbedingungen.

Jeder Sphärolith zeigt hier nun erstmalig die „Faserdrilling“. Die charakteristischen Züge dieser Erscheinung studieren wir am besten im folgenden Bild, der Entwicklung eines einzigen großen Sphärolithen von reiner Hippursäure, und zwar in einem einzigen Quadranten. Zwischen + Nic. treten die feineren Einzelheiten bei etwas stärkerer Vergrößerung gut heraus: der regelmäßige Wechsel der Interferenzerscheinungen, das Steigen und Fallen der Farben längs der Faserachsen, eine gewisse Phasenverschiebung benachbarter Fasern in regelmäßigem Auf und Ab, wodurch die charakteristischen, welligen oder stumpf- bis spitzwinkligen Farbbänder entstehen. Die Farbverteilung in den Bändern kann dabei über die optische Symmetrie Auskunft geben. Dunkle Streifen würden den Austritten der sog. optischen Achsen entsprechen. Aber wir haben vorliegend den Fall, daß die stumpfe Bisektrix Faserachse ist.

Man erkennt ferner die fast ideal kreisförmige Gestalt der fortschreitenden Wachstumsfront, ein nur seltenes Hinausschnellen einzelner

Fasern oder Faserpakete über sie hinaus, woraus zu ersehen ist, daß die Zickzackbänderung als optischer Ausdruck der Phasenverschiebung nicht in Zusammenhang steht mit unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten benachbarter Fasern. Man sieht auch scharfe radiale Trennlinien von Sektoren als Zeichen ganz großer diskontinuierlicher Versetzung der Phase der Drillung.

Die nächste Bildserie zeigt schließlich den vielleicht nur scheinbar komplizierteren Typus, den POPOFFSchen „Pseudosphärolithen“ mit Zweiblatt. Wie man diesen inneren Zweiblattkörper rein geometrisch, grob wachstumskinematisch unter Zuhilfenahme des schon benutzten Verzweigungs- oder Sprossungsprinzips deuten kann — diesen Ablauf zeigt ja nun der Film in kontinuierlicher Folge recht klar —, wurde einleitend kurz auseinandergesetzt. Man beachte hier die sich im Fortschreiten mehr und mehr ausstülpenden Nabelpunkte der Wachstumsfront. Der Außenkörper entwickelt sich dabei wieder zu den feinfasrigen, mit der Drillung verknüpften Sphärolithen. Das Zweiblatt besitzt stets feinfasrigen Bau. (Störungen haben leider hier die saubere Ausbildung der theoretischen Form der Innenräume gegen das Ende hin verhindert.) Diesen hat auf der Grundlage der Vorstellung eines sprossenden Kernkristalls bisher noch niemand erklärt. Auffällig und widerspruchsvoll ist ebenso auch die nahezu gleiche W.G. des Strahlenbüschels des Zweiblatts! Auf der Innenseite sind die beiden Blattsäume ja begrenzt von Gebieten besonders geringer W.G. des Kernkristalls. Es bedarf also noch begründeter Zusatzannahmen für die genetische Deutung des Gesamtphänomens.

Ist der Kern nicht ein einzelner Kristall, sondern ein mehr kristalliner Keimbezirk, so entsteht ein komplexerer Sphärolith, reichlicher an Störungen, mit einem inneren Mehrblattsystem, wie es in der letzten Bildserie gezeigt ist. Schon BERNAUER bildete schematisch ein solches ab. Die Erscheinung ist grundsätzlich von Bedeutung. Es scheint damit nachgewiesen, daß ein Keimbezirk den genannten zwei Denkmöglichkeiten wirklich entsprechen kann.

#### Literatur

1. BEHRENS-KLEY, Mikrochemische Analyse. Leipzig 1915.
2. BEHRENS-KLEY, Organische mikrochemische Analyse. 2. Aufl. Leipzig 1922.
3. BERNAUER, F., „Gedrillte“ Kristalle. Forsch. z. Kristallkunde, H. 2, Berlin 1929.
4. GEILMANN, W., Bilder zur qualitativen Mikroanalyse anorganischer Stoffe. Leipzig 1934.
5. LEONHARDT, J., Zum Keimbildungsproblem bei Strahlungskristallisaten und gedrillaen Kristallen. Min. Petr. Mitt. 3 (1954), S. 382.



6. MÜGGE, O., Über die Entstehung fasriger Minerale und ihre Aggregationsformen. N. Jb. Min. Beil. **53** A (1928), S. 303.
7. POPOFF, B., Sphärolithenbau und Strahlungskristallisation, Latv. Farm. Žurn. Riga 1934.
8. SEIFERT, H., Kristallwachstum. Begleitveröff. zum wissenschaftl. Film C 621 d. Inst. f. d. Wiss. Film, Göttingen 1952.
9. SEIFERT, H., Kristalltrachtbeeinflussung wachsender Kristalle durch Lösungsgenossen als Adsorptionsproblem. Z. Elchem. **56** (1952), S. 331.
10. SPANGENBERG, K., Wachstum und Auflösung der Kristalle. In: Handwörterbuch d. Naturwiss. 2. Aufl., Bd. 10 (1934), S. 388.

*(Eingegangen am 22. 10. 1958)*