

Der Aufbau der Krystalle aus Anwachskegeln.

Von

F. B E C K E.

Vortrag gehalten im naturhistor. Vereine „Lotos“ in Prag am 26. November 1892.

Man pflegt die Krystalle als homogene Körper zu bezeichnen und sieht in der Eigenschaft der Homogenität eines ihrer wichtigsten Merkmale. Danach sollten alle Theile des Krystalls durchaus gleichartig sein, keiner von dem anderen irgend einen Unterschied erkennen lassen.

Die Krystalle, die wir in der Natur an den Mineralen beobachten, oder die wir im Laboratorium künstlich erzeugen, entsprechen wohl nur selten, in aller Strenge wohl nie diesen theoretischen Anforderungen.

Viele Inhomogenitäten an den Krystallen haben als zufällige Erscheinungen weiter kein Interesse. Manche treten aber in einer gesetzmässigen Weise auf, die uns verständlich wird, wenn wir die Vorgänge beim Wachsen des Krystalls genauer verfolgen.

Die Krystalle wachsen durch Ansatz neuer Substanz an der Oberfläche, durch Apposition.

Denken wir uns einen sehr kleinen, recht einfachen Krystall, (vergl. Fig. 1) z. B. ein rhombisches Prisma mit gerade aufgesetzter Endfläche; dasselbe sei im Wachsen begriffen; es vergrössert sich dadurch, dass sich auf allen Krystallflächen parallele Schichten neuer Krystallsubstanz ablagern. Der herangewachsene Krystall besteht dann aus Theilen, die durch Absatz auf den beiden Basisflächen, und aus anderen Theilen, die durch Absatz auf den vier Prismenflächen entstanden sind. Ich bezeichne diese Theile als Anwachskegel.¹⁾

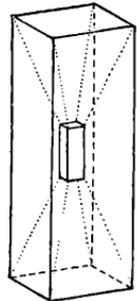


Fig. 1.

¹⁾ Pyramiden wäre genauer. Indessen spielt der Terminus Pyramide in der Krystallographie in anderer Bedeutung eine wichtige Rolle, weshalb ich ihn hier vermeiden wollte.

Die Gestalt dieser Anwachskegel ist pyramidenförmig; die Basis der Pyramide entspricht der wachsenden Krystallfläche, die Spitze liegt im Innern des Krystalls im Bildungsmittelpunkt, dem Punkt, von dem das Wachsen des Krystalls ausging. Dieser kann bei schwebend gebildeten Krystallen mit dem Schwerpunkt zusammenfallen; bei aufgewachsenen Krystallen stossen die Spitzen aller Anwachskegel in einem Punkt der Unterlage zusammen.

Leicht verständlich sind folgende allgemeine Sätze:

Ist der Krystall von lauter gleichen Krystallflächen begrenzt (einfache Form), so besteht er aus lauter gleichen Anwachskegeln, die sich nur in ihrer Orientirung unterscheiden; z. B. der Fluoritwürfel Fig. 3.

Ist ein Krystall von verschiedenen Krystallflächen begrenzt (Combination), so besteht er aus so vielen Arten verschiedener Anwachskegel, als verschiedene Krystallflächen vorhanden sind. So lässt der Krystall Fig. 1 zwei schlanke Anwachskegel der Endflächen und vier stumpfe Anwachskegel der Prismenflächen unterscheiden.

Die Gestalt jedes Anwachskegels ist bei ebenmässigen, einfachen Formen nur abhängig von der Lage der Krystallflächen; bei Combinationen aber von der Wachsthumsgeschwindigkeit seiner Basis. Je langsamer der Schichtenabsatz auf eine Krystallfläche erfolgt, desto breiter wird der zugehörige Anwachskegel, desto grösser der Antheil, den die betreffende Krystallfläche an der Oberfläche des Krystalls einnimmt. Krystallflächen mit sehr raschem Wachsthum haben schlanke Anwachskegel, wie die Endflächen langsäulenförmiger Krystalle; liegen solche Flächen zwischen geneigten Flächen langsameren Wachsthums, so können die rasch wachsenden Flächen völlig verschwinden, der Anwachskegel erlischt. Die Krystalle umgeben sich also nothwendig beim Wachsen immer mit den Flächen langsamsten Wachsthums.

Die Anwachskegel können nun an den Krystallen in der mannigfaltigsten Weise zur Erscheinung kommen; einige dieser Erscheinungsformen und ihre innere Verwandtschaft sollen im Folgenden erörtert werden.

An vielen Krystallen erkennt man den schichtförmigen Absatz am Schalenbau. In einem Durchschnitt gibt sich derselbe in concentrischen Polygonen kund, die dem äusseren Umriss des Krystalls parallel gehen. (Vergl. Fig. 2 der Tafel.) An solchen Krystallen

verrathen sich die Grenzen der Anwachskegel durch die Knickung der Zuwachsstreifen.¹⁾

Nicht selten unterscheiden sich die Anwachskegel bestimmter Krystallflächen durch grösseren Reichthum an fremden Einschlüssen. Beispiele dieser Art sind wiederholt beschrieben worden; manchmal treten sie in lehrreicher Beziehung zur Hemiëdrie oder dem Hemimorphismus der Krystalle auf. An Krystallen von Bleinitrat hat Wulff beobachtet, dass bei bestimmter mittlerer Wachstumsgeschwindigkeit die Anwachskegel des negativen Tetraëders durch massenhafte Mutterlaugen-Einschlüsse trüb und weiss erscheinen, während die des positiven Tetraëders wasserhell und durchsichtig sind.²⁾ An Krystallen derselben Substanz, welche ich im Herbste 1892 züchtete, beobachtete ich die Combination beider Tetraëder mit dem Würfel und dem Pentagondodekaëder. Die Anwachskegel beider Tetraëder waren trüb, die der anderen Formen wasserhell.

Ganz kürzlich wurde ein ähnliches Verhalten von H. A. Miers und W. J. Pope am Rechts- und Links-Sobrerol ($C_{10} H_{13} O_2$) gefunden.³⁾ Die monoklin-hemimorphen Krystalle zeigen die Formen (100) (001) (110). Am Rechts-Sobrerol sind die Anwachskegel der Flächen $\bar{1}10$ $\bar{1}\bar{1}0$ trüb und einschlussreich, am Links-Sobrerol die Anwachskegel der Flächen 110 und $\bar{1}10$.

Ein dem Bereich der Minerale entnommenes Beispiel liefert der Chiasolith, jene Varietät des Andalusit ($Al_2 Si O_5$), welche in den durch Contact mit eruptiven körnigen Massengesteinen umgewandelten Thonschiefern so häufig angetroffen wird.

Die merkwürdigen kreuzähnlichen Zeichnungen, die man auf den quer durchschnittenen Säulen des Mineralen wahrnimmt, sind in diesem Jahrhundert wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen.⁴⁾ Die genauesten und zutreffendsten Angaben hat in neuerer Zeit Rohrbach gemacht.⁵⁾

Das Wesentliche der Erscheinung ist folgendes: Auf den nahezu quadratischen Querschnitten der Prismen sieht man einen

¹⁾ Vergl. z. B. den Durchschnitt von schalig gebautem Granat bei Rosenbusch, mikroskop. Physiogr. I. 3. Aufl. Taf. XIII. Fig. 3.

²⁾ Zeitschr. f. Kryst. 4. 122. 1879.

³⁾ Ebenda 20. 321. 1892.

⁴⁾ Vergl. die Zusammenstellung der betreffenden Literatur in Hintze, Handbuch der spec. Mineral. 133. 1889.

⁵⁾ Zeitschr. d. deutschen geol. Ges. 39. 635. 1887.

centralen, dunklen, viereckigen Fleck, dessen Seiten der äusseren Umgrenzung des Querschnittes parallel gehen, und vier dunkle Linien, welche von den Ecken des Centralfleckes ausgehend diagonal gegen die äusseren meist abgerundeten Ecken des Querschnittes verlaufen. Auch diese sind häufig durch Anreicherung des dunklen Pigmentes bezeichnet. Diese dunklen Stellen der Querschnitte sind reich an fremden Einschlüssen, namentlich kohligten Partikeln, die aus dem umgebenden Schiefer stammen und die dunkle Farbe bedingen.

Rohrbach hat überzeugend nachgewiesen, dass die in den Querschnitten als dunkle Kreuzarme erscheinenden Wände von Einschlüssen nur die Spur von Prismenkanten darstellen, welche an den Chialolithkrystallen meist schlecht ausgebildet, häufig eingekerbt sind, und so den Krystall befähigen beim Weiterwachsen an diesen Stellen besonders häufig fremde Einschlüsse aufzunehmen.

Ueber den centralen Fleck geht Rohrbach mit der Bemerkung hinweg, derselbe bedürfe keiner Erklärung. Gerade auf diesen Punkt möchte ich aber näher eingehen; ich sehe in dem schwarzen Centralfleck nichts anderes als den quer durchschnittenen Anwachskegel der Endfläche. Während auf den Prismenflächen das Wachstum des Andalusitkrystalls solide fortschreitet, werden auf den Endflächen massenhaft fremde Einschlüsse aufgenommen. Meine Erklärung fordert, dass sich die Ausdehnung des Centralflecks von Querschnitt zu Querschnitt ändere, dass derselbe in dem

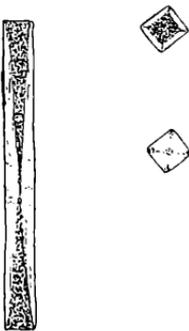


Fig. 2.

mittleren durch die ältesten Theile des Krystalls gehenden Schnitt sehr klein, in einem dem Ende nahe gelegenen dagegen sehr gross sei. In einem Längsschnitt der Chialolithsäule muss der „Centralcanal“ sich nach beiden Enden verbreitern.¹⁾ Alle diese Voraussetzungen findet man bestätigt, wenn man Handstücke des bekannten in allen Sammlungen verbreiteten Chialolithschiefers von Gefrees aufmerksam untersucht. (Vergl. Fig. 2.) Insbesondere

kann man sich leicht von der gestreckten Sanduhrform der dunklen Anwachskegel der beiden Endflächen an günstigen Längsschnitten überzeugen.

¹⁾ In der That bereits von Bernhardi beobachtet. Vergl. Dana: A System of Mineralogy 5th. Edition. 372. 1875.

Von den grossen amerikanischen Chialolithkrystallen (Lancaster) standen mir nur Bruchstücke zur Verfügung, an welchen allerdings die verschiedene Grösse des Centralflecks am oberen und unteren Querschnitt beobachtet werden konnte, doch konnte das Verhalten des Centralcanales nicht in seiner ganzen Ausdehnung geprüft werden.¹⁾

Nur eine Steigerung dieser Erscheinungen ist es, wenn Krystalle vorkommen, wo die Anwachskegel gewisser Krystallflächen im Wachsthum völlig zurückbleiben. An rhombischen Pyroxenen²⁾, an Feldspathen³⁾ hat man derartige Skelettbildungen häufig beobachtet. An Stelle des Anwachskegels gewisser Krystallflächen entsteht ein Hohlraum und die Krystalle erscheinen im Längsschnitt gegabelt, oft am Ende ruinenartig ausgezackt.

Am Chialolith grenzen sich die Anwachskegel der Prismenflächen, die sonst untereinander gleichwerthig und ununterscheidbar sind, durch Wände von fremden Einschlüssen ab (Kreuzarme), welche den Spuren der Kanten des wachsenden Krystalls entsprechen. Eine ähnliche Erscheinung zeigen manche eingewachsene Granatkrystalle metamorpher Gesteine. Sie haben die Form des Rhombendodekaëders, die Anwachskegel sind sämmtlich gleichwerthig und wären ununterscheidbar, wenn nicht ihre den Kanten des Dodekaëders entsprechenden Grenzen durch eingelagerte Fremdkörper markirt würden, die in den Durchschnitten als schwarze Linien hervortreten.⁴⁾

1) Etwas complicirter scheinen die Krystalle von Springfield aufgebaut zu sein, welche Dana (*A System of Mineralogy* 6th. Edition 497. 1892) abbildet. In den früheren Auflagen (5th. Edition 372. 1875) waren der Figur, welche die aufeinander folgenden Querschnitte darstellt, noch zwei weitere beigegeben, von denen die eine dem Anwachskegel der rechtsgelegenen Endfläche entspricht; die andere, welche einen der weissen einschlussfreien Antheile des Krystalls darstellt, würde aber nur einem Theil des Anwachskegels der Prismenfläche entsprechen. Zur Erklärung müsste man annehmen, dass das Längenwachsthum nur einseitig nach rechts stattgefunden habe (Hemimorphie?, links aufgewachsener Krystall?) und dass das Dickenwachsthum auf verschiedenen Querschnitten sich verschieden gestaltete, indem an den jüngeren rechten Theilen des Krystalls die Prismenflächen in grösserer Ausdehnung solid weiter wuchsen als am linken Ende, wo oscillatorische Combination und zugerundete Kanten an der Oberfläche des Krystalls überwiegend vorhanden waren.

2) Vergl. Rosenbusch Mikr. Physiogr. I. 3. Auf. Taf. II. Fig. 2. 1892.

3) M. Belowsky. Die Gesteine der ecuatorianischen West-Cordillere; aus W. Reiss u. Stübel Reisen in Südamerika. Berlin 1892. S. 26.

4) Vergl. Rosenbusch l. c. Taf. XIII. Fig. 4.

Im Anschluss an die Einschlüsse sind die durch fremde Pigmente gefärbten Anwachskegel zu erwähnen. O. Lehmann¹⁾ hat kürzlich hierauf bezügliche Beobachtungen veröffentlicht. Danach zeigt sich die durch fremde, regelmässig eingelagerte Pigmente verursachte Färbung bei Krystallen selten gleichmässig vertheilt, vielmehr zeigen die verschiedenen Krystallflächen verschiedene Anziehungskraft für den Farbstoff. In Folge dessen beobachtet man zuweilen, dass die Krystalle abwechselnd aus gefärbten und nichtgefärbten Sektoren (Anwachskegeln) bestehen, deren Spitze der Mittelpunkt des Krystalls ist, und deren Basis die wachsenden Krystallflächen bilden.

Ich kenne ein einziges Beispiel aus dem Bereich der Minerale, welches hier zu erwähnen wäre: der Amethyst, dessen violettes Pigment häufig nicht gleichmässig im Innern des Krystalls vertheilt ist. Bei manchen Krystallen sind die Anwachskegel der positiven Rhomboëderflächen (Brasilien), bei anderen die Anwachskegel der negativen Rhomboëderflächen dunkler violett (Meissau)²⁾.

Auch der Zwillingsbau der Quarzkrystalle aus abwechselnd rechts und links drehenden Schichten scheint nach den Untersuchungen von Brewster, Haidinger und Des-Cloizeaux von dem Aufbau aus Anwachskegeln abhängig zu sein. In den Anwachskegeln von $+R$ ist dieser lamellare Wechsel besonders deutlich; in den Anwachskegeln von $-R$ sind rechts- und linksdrehende Theile in grösserer Ausdehnung gesondert.

Die complicirten Zwillingsbildungen mimetischer Minerale werden gleichfalls nicht selten von dem Aufbau aus Anwachskegeln beeinflusst. Ein sehr klares Beispiel liefern die von Mallard³⁾ meisterhaft beschriebenen Krystalle des Prehnit von Farmington.

Die Krystalle sind nach (001) tafelförmig und randlich begrenzt von den Flächen (010), (110), (100). Die Krystalle sind complicirte Zwillingsgebilde mit vielen sehr feinen eingelagerten Zwillingslamellen. Die Zwillingsgesetze, nach denen sich diese Lamellen

1) Ueber künstliche Färbung von Krystallen. Zeitschrift für physik. Chemie 8, 543. 1892.

2) Vergl. Haidinger: Ueber eine neue Varietät von Amethyst. Denkschriften der Wiener Akademie, mathem. naturw. Classe I. 1849 und: Ueber den Pleochroismus und die Krystallstruktur des Amethystes. Sitzber. Wien. Akad. 12. 401. 1854.

3) Bull. soc. franç. de min. 5. 195. 1882.

anordnen, sind verschieden. Im Anwachskegel der Fläche (100) sind rechtwinklig gekreuzte Lamellen vorhanden; im Anwachskegel der Prismenflächen schneiden sie das Hauptindividuum unter etwa 60° . Auch das, was Lasaulx beim Desmin als inverse Substanz bezeichnet hat¹⁾, dürfte nichts anderes sein als der Anwachskegel der Fläche (101), in welchem vielfache Einlagerungen von Zwillinglamellen stattfinden.

Eine grosse und wichtige Rolle spielen die Anwachskegel bei den Aetzerscheinungen.

Bekanntlich entstehen auf glatten Krystallflächen durch Einwirkung auflösender Flüssigkeiten regelmässig gestaltete Vertiefungen oder Erhöhungen, die sogen. Aetzfiguren. Sie liegen auf derselben Krystallfläche alle untereinander parallel, sind auf derselben Krystallfläche gleich oder doch auf gleiche Grundform zurückführbar und bei vorsichtiger Ausführung des Versuchs von ebenen Flächen begrenzt, die häufig der Lage gewisser Krystallflächen von einfachem Zeichen nahe kommen. Entscheidend für die Form der Aetzfiguren ist die Symmetrie der geätzten Krystallfläche. Die Aetzfiguren haben stets dieselbe Symmetrie wie die Krystallfläche, auf der sie entstanden sind.

Solche Aetzfiguren bilden sich nicht nur auf den äusseren Krystallflächen, sondern auch auf den durch das Innere des Krystalls gelegten Spalt- oder Schlißflächen, wenn diese der Einwirkung des Lösungsmittels ausgesetzt werden.

Bei Krystallen, deren Inneres die Anwachskegel nicht differenziert zeigt, stimmen dann die auf Spalt- oder Schnittflächen erzeugten Aetzfiguren überein mit jenen, die man auf den entsprechenden Krystallflächen der Oberfläche erhält. Bei Krystallen mit deutlichen Anwachskegeln ist das nicht der Fall. Eine geätzte Schnittfläche zerfällt dann in so viele Sektoren, als sie Anwachskegel durchschneidet, und auf jedem dieser Sektoren erscheint die Form der Aetzfiguren in besonderer Weise modificirt. Nur soweit die Schnittfläche einen Anwachskegel parallel seiner Basis durchschneidet, erscheinen die Aetzfiguren in derselben Gestalt wie auf der zum Schnitt parallelen Krystallfläche. Auf allen anderen Sektoren sind die Aetzfiguren verzerrt und zwar entweder parallel der Axe des zugehörigen Anwachskegels oder (seltener) parallel der Basis desselben abnorm verlängert und vertieft.

¹⁾ Zeitschr. f. Kryst. 2. 576. 1878.

Die Symmetrie dieser verzerrten Aetzfiguren ist nicht mehr dieselbe wie die der Krystallfläche, der parallel der Krystall durchschnitten wurde; sie erscheint vermindert, und zwar nach der Regel, dass die Richtung parallel der Axe des Anwachskegels von den übrigen sonst krystallographisch gleichwerthigen Richtungen verschieden angenommen wird.

Für die hier erwähnten Erscheinungen habe ich in der letzten Zeit mehrere Beispiele beschrieben.¹⁾

Am klarsten und einfachsten liegen die Verhältnisse bei gewissen Fluorit-Krystallen. Die durch Salzsäure hervorgebrachten Aetzfiguren sind auf der natürlichen Würfelfläche vertiefte Pyramiden von quadratischem Querschnitt, welche diagonal auf der Würfelfläche orientirt sind (vergl. Fig. 3 a); die Seitenflächen entsprechen den vier in einer Polecke zusammenstossenden Flächen eines Ikositetraëders. Auf der natürlichen Oktaëderfläche hat man vertiefte dreiseitige Aetzgrübchen von gleichseitigem Querschnitt, oder complicirtere Formen, die dadurch entstehen, dass an der vertieften dreiseitigen Pyramide die Seitenkanten durch Flächen abgestumpft erscheinen. Die vorherrschenden Flächen sind bei Aetzung mit verdünnter Säure Ikositetraëderflächen. (Fig. 4 a).

An manchen Fluoriten zeigen auch Spaltflächen nach dem Oktaëder oder parallel dem Würfel angeschliffene Flächen dieselben trisymmetrischen, bezüglich tetrasymmetrischen Figuren. Manche Fluorite aber (besonders deutlich wasserhelle Würfel von Cornwall, von Derbyshire, weingelbe von Freiberg) zeigen ein anderes Verhalten. Eine Schlieffläche parallel der Würfelfläche unterhalb der Oberfläche durch den Krystall gelegt, zeigt (vergl. Fig. 3) ein quadratisches Mittelfeld und vier schmale, den benachbarten Würfelflächen anliegende Randsectoren. Nur im Mittelfeld treten, sowie auf der natürlichen Oberfläche, tiefe tetrasymmetrische Aetzfiguren (Fig. 3 a)

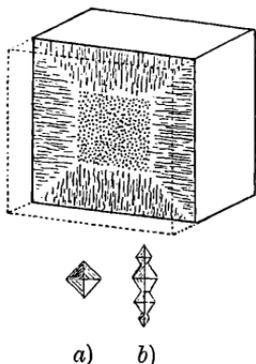


Fig. 3.

auf. In den Randfeldern erscheinen die Aetzgrübchen flacher und in Reihen gestellt, welche senkrecht zur benachbarten Würfel-

¹⁾ Vergl. Tschermak's mineralog. und petrographische Mittheilungen 8. 239. 1887 (Pyrit); 11. 350. 1890 (Fluorit).

fläche verlaufen. (Fig. 3b) zeigt eine solche Reihe vom oberen Randfeld der Würfelfläche. Genaue Messungen ergeben, dass diese Aetzgrübchen nicht quadratischen sondern rhombischen Grundriss haben und dass die längere Diagonale in der Richtung jener Reihen liegt. Die Abweichung ist übrigens gering, und dürfte durch die reihenweise Anordnung der Aetzfiguren verursacht sein.

Je tiefer gegen die Mitte des Krystalls die Schlißfläche angelegt wird, desto kleiner wird das Mittelfeld, desto grösser die Randfelder.

Eine durch Spaltung erzeugte Oktaëderfläche hat dreiseitigen Umriss; die Dreieckseiten entsprechen den Kanten mit den drei benachbarten Würfelflächen. Nach der Aetzung zeigt eine solche Spaltfläche (vergl. Fig. 4) eine Theilung in drei Felder, deren jedes einer Würfelfläche anliegt. In jedem Feld sind die Aetzgrübchen vertiefte dreiseitige Pyramiden mit gleichschenkligdreieckigem Grundriss. Der spitze Scheitel ist der benachbarten Würfelfläche zugewendet; die gegenüberliegende Seitenfläche liegt steiler als die beiden anliegenden.

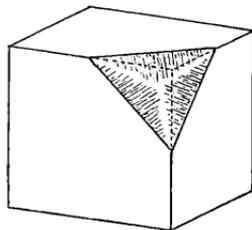


Fig. 4.

Fig. 4b zeigt die Form und Lage einer einzelnen Aetzfigur auf dem oberen Feld der Spaltfläche.

Nach diesen Beobachtungen zerfällt der ganze Flussspath-Würfel in so viele pyramidenähnlich gestaltete Theile, als freie Würfelflächen vorhanden sind — in die Anwachskegel der Würfelflächen. In jedem solchen Anwachskegel erscheint die Symmetrie verringert, u. zw. erscheint die Symmetrie eines tetragonalen Krystalls. Die Basis des Anwachskegels, die ihren tetrasymmetrischen Charakter beibehält, entspricht der tetragonalen Endfläche, die Richtungen der anderen Würfelflächen entsprechen dem verwendeten tetragonalen Prisma, dessen Flächen disymmetrisch sind. Wir erhalten die reducirte Symmetrie des Anwachskegels, wenn wir von allen Symmetrie-Elementen des tesserale Krystalls nur jene beibehalten, die der fortwachsenden Krystallfläche parallel liegen oder auf ihr senkrecht stehen.

Wenn der Krystall von anderen Krystallflächen begrenzt wird, so sind die Verhältnisse entsprechend geändert; z. B. hat man an den oktaëdrischen Krystallen von Andreasberg Anwachskegel von

rhomboëdrischer Symmetrie, die man leicht erhält, wenn man von den Symmetrie-Elementen des tesserale Krystals nur jene beibehält, die zur Oktaëderfläche parallel oder senkrecht liegen.

Die durch diesen Aufbau hervorgerufenen Erscheinungen sind sehr ähnlich den durch Zwillingsbildung an mimetrischen Krystallen verursachten, sind auch von manchen Beobachtern in diesem Sinne gedeutet worden.

Von der wichtigen Rolle, welche die Anwachskegel bei der Erklärung gewisser optischer Anomalien der Krystalle spielen, erhält man eine Vorstellung, wenn man die ausgezeichnete Schrift von R. Brauns¹⁾ aufmerksam durchgeht. Auch hier ergibt sich als allgemeines, zuerst wohl von dem genannten Forscher klar erkanntes und formulirtes Resultat, dass die Symmetrie der optischen Erscheinungen innerhalb jedes Anwachskegels verringert erscheint und zwar nach Massgabe der Symmetrie jener Krystallfläche, welche als Basis des Anwachskegels fungirt. Von den optischen Symmetrie-Elementen des Krystals bleiben nur jene unverändert erhalten, welche auf der wachsenden Krystallfläche senkrecht stehen oder zu ihr parallel gehen.

Nach dieser Regel lässt sich also voraussagen, dass, wofern in den Anwachskegeln eines tesserale Krystals überhaupt optische Anomalien auftreten, die zu einer Würfelfläche gehörigen das Verhalten eines tetragonalen Krystalles zeigen müssen, die Anwachskegel der Oktaëderflächen sich wie rhomboëdrische, die des Pentagondodekaëders wie monokline Krystalle verhalten werden, wie dies auch durch Erscheinungen anomaler Krystalle von Bleinitrat und andere bestätigt wird.

Dabei scheinen die optischen Anomalien so ausserordentlich empfindlich zu sein für die Lage der Basis des Anwachskegels, dass schon die geringen Abweichungen von der theoretisch richtigen Lage, wie sie bei den sogenannten Vicinalflächen vorkommen, die optische Symmetrie des zugehörigen Anwachskegels merklich beeinflussen.

An anomalen Alaunkrystallen verhalten sich die Anwachskegel der Oktaëderflächen wie optisch einaxige (rhomboëdrische) Krystalle. Anstatt der einheitlichen Oktaëderflächen beobachtet man

¹⁾ R. Brauns, Die optischen Anomalien der Krystalle. Gekrönte Preisschrift der fürstlich Jablonowski'schen Gesellschaft in Leipzig 1891.

an manchen Alaunkrystallen drei oder sechs sehr flach gegen die Oktaëderfläche geneigte „Vicinal“-Flächen, die unter sehr stumpfen Winkeln zusammenstossen; die Abweichung der Vicinalflächen von der theoretisch richtigen Lage der Oktaëderfläche beträgt oft nur wenige Minuten. Dann erweist sich der zugehörige Anwachskegel nicht mehr homogen und einaxig; er zerfällt in so viele zweiaxige Theilkegel, als Vicinalflächen ausgebildet waren.¹⁾

Dieselbe Abhängigkeit gewisser optischer Erscheinungen vom Vicinalflächenbau wurde von Streng²⁾ am Chabasit beobachtet, von mir³⁾ genauer geprüft, aber damals irrthümlich als Zwillingsbildung gedeutet. Brauns⁴⁾ und Rinne⁵⁾ fanden fast gleichzeitig weitere wichtige Beziehungen, die für Entstehung der Anomalien durch Spannungen sprechen.

Bezüglich der Ursache dieser Spannungen gehen die Ansichten noch auseinander. Nach Brauns sind isomorphe Mischungen die Veranlassung. Die Chabasitrhomboëder sind einaxig nur im Anwachskegel der seltenen Endfläche. Die Anwachskegel der Rhomboëderflächen sind zweiaxig, aber nicht einheitlich; sie zerfallen in zwei Antheile, in denen die Ebenen der optischen Axen kleine Winkel einschliessen, diese Antheile entsprechen genau den Anwachskegeln zweier wenig gegeneinander geneigter vicinalen Skalenoëderflächen, welche die Rhomboëderfläche der Chabasitkrystalle gewöhnlich ersetzen.

Ehe in der Erörterung fortgefahren wird, wollen wir den bisher zurückgelegten Weg nochmals überblicken. Der wachsende Krystall vergrössert sich durch Stoffansatz auf seinen Krystallflächen, er baut sich auf aus pyramidal gestalteten Krystalltheilen, den Anwachskegeln, die ihre Spitze im Bildungsmittelpunkt des Krystalls haben und ihre Basis, die fortwachsende Krystallfläche,

1) Siehe die Sectorentheilung der Oktaëderplatten von Alaun. Brauns l. c. S. 232.

2) A. Streng. Ueber den Chabasit. 16. Ber. der oberhess. Gesellschaft für Natur- und Heilkunde. 1877.

3) F. Becke. Ueber die Zwillingsbildung und die optischen Eigenschaften des Chabasit. *Tschermak mineral. u. petr. Mitth.* 2. 74. 1880.

4) Brauns l. c. 267.

5) F. Rinne. Ueber die Umänderungen, welche die Zeolithe durch Erwärmen bei und nach dem Trübwerden erfahren. *Sitzber. Berl. Akad.* 13. IX. 1192. 1890.

parallel mit sich selbst nach aussen verschoben. Die hiedurch entstehenden Krystalltheile können sich durch ihre grössere oder geringere Reinheit, durch die Zahl der fremden Einschlüsse unterscheiden. Das bereitet dem Verständniss keine Schwierigkeit. Die Zahl der fremden Einschlüsse wird abhängen von der Rauigkeit und Unebenheit der wachsenden Oberfläche. Je glatter dieselbe ist, um so leichter werden Fremdkörper zurückgeschoben, um so geringer wird die Zahl der umschlossenen Hohlräume, Mutterlaugeneinschlüsse u. s. f. ausfallen. Dass aber in Bezug auf Vollkommenheit der Oberfläche die verschiedenen Krystallflächen sich sehr merklich unterscheiden können, ist eine bekannte Thatsache. Aehnlich mag es sich mit der Aufnahme intermolecular eingelagerter Pigmente verhalten, wenn hier nicht etwa Wirkungen chemischer Art mit im Spiel sind, von denen erst später gehandelt werden soll.

Feinere Störungen des Krystallbaues werden durch die Aetzfiguren enthüllt. Das Entstehen der Aetzfiguren wird überhaupt nur verständlich, wenn wir Störungen im Krystallbau zugeben. Jeder, der Aetzversuche gemacht hat, weiss, dass die zartesten kaum sichtbaren Kratzer auf einer Krystallfläche das Entstehen ganzer Reihen von Aetzfiguren bewirken. Auch für die ohne sichtbare Veranlassung an scheinbar beliebigen Stellen der Krystallfläche auftretenden Aetzfiguren wird man submikroskopische Störungen des Krystallbaues als Veranlassung anzunehmen haben.

In jedem Anwachskegel werden nun diese Störungen durch die fortwachsende Fläche anders orientirt, so erklärt sich der Effect, die verschiedene Orientirung der Aetzfiguren auf den Anwachskegeln der verschiedenen Krystallflächen.

Auch die Verknüpfung gewisser optischer Anomalien mit den Anwachskegeln ist ziemlich leicht verständlich, obwohl wir weit entfernt sind den Zusammenhang im Einzelnen verfolgen zu können. Bemerkenswerth ist es, dass die in Rede stehende Verknüpfung nicht oder nur in beschränkter Weise auftritt bei jenen optischen Anomalien, die mit echter Mimesie oder mit molecularen Umwandlungen zusammenhängen. Auch bei diesen (z. B. Boracit) kommen Sectorenteilungen vor; diese folgen aber nicht den Anwachskegeln der vorhandenen Krystallflächen, sondern gewissen krystallographischen Richtungen unbekümmert darum, ob normal zu denselben Krystallflächen vorhanden sind oder nicht.

Die innige Verknüpfung der optischen Feldertheilung mit den vorhandenen Krystallflächen findet sich nur bei jenen Fällen optischer Anomalie, in denen Spannungszustände des Krystalls mit Grund als Ursache der Abweichungen des optischen Verhaltens angenommen werden.

Es ist nicht Aufgabe und Zweck dieses Aufsatzes die Ursachen dieser Spannungen aufzusuchen oder zu discutiren. Soviel scheint aber sicher, dass für die Orientirung dieser Spannungen, die schon während des Wachsthum der Krystalle entstehen, das Vorhandensein einer freien Oberfläche an der fortwachsenden Basis der Anwachskegel von Bedeutung sein muss. Da diese freie Oberfläche für die verschiedenen Anwachskegel auch eine verschiedene Orientirung gegen die (mechanische) Elasticitätsfläche des Krystalls besitzt, sind wohl auch die in verschiedenen Anwachskegeln oft quantitativ und der Art nach sehr verschiedenen optischen Effecte im Allgemeinen verständlich.¹⁾

¹⁾ Zur Erklärung der optischen Anomalien bei isomorphen Gemischen sind die Elasticitätsverhältnisse bisher nicht berücksichtigt worden. Sie dürften eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen. Brauns hat die Verschiedenheit des Molecularvolums als Ursache der Spannungen angenommen, diese Ansicht aber wieder aufgegeben, weil Verbindungen von beträchtlich verschiedenem Molecularvolum keine merkliche Anomalie erkennen liessen. Nebst der Verschiedenheit des Molecularvolums kommt aber auch noch der Elasticitätscoefficient in Frage: bei gleichem Elasticitätscoefficienten wird die Compression des einen Bestandtheils gleich der Dilatation des anderen sein und der optische Effect sich compensiren. Wenn Brauns bei den Mischungen von Thallium-Alaun (Mol. Vol. = 566) mit Kalium-Alaun (546·7) und Ammonium-Alaun (555·8) nur Spuren von Doppelbrechung fand, während Mischkrystalle von Kalium- und Ammonium-Alaun merklich anisotrop waren, so kann das daraus resultiren, dass der Elasticitätscoefficient für Thallium-Alaun zwischen denen der beiden anderen Alaunarten liegt, also von keinem sehr verschieden ist, während Kalium- und Ammonium-Alaun sich merklich unterscheiden. Die Berücksichtigung der Elasticitätsverhältnisse würde auch den verschiedenen Spannungszustand in den Anwachskegeln verschiedener Krystallflächen verstehen lassen. Die Erklärung Lehmann's (Molecularphysik I. 450) vermag diesen Punkt nicht aufzuhellen. Lehmann nimmt an, dass die Substanzen im Moment der Ausscheidung eine andere Temperatur haben, als bei der sie beobachtet werden, und sieht den verschiedenen thermischen Ausdehnungscoefficienten für die Ursache der Spannung an. Offenbar müssten dann bei der Wiederherstellung der Temperatur die Anomalien verschwinden. Die erwähnte Verschiedenheit der Anwachskegel verschiedener Krystallflächen wird gar nicht erklärt, denn der thermische Ausdehnungscoefficient ist bei tesserale Krystallen in allen Richtungen gleich (nicht verschieden, wie Brauns in seiner mehrfach citirten Schrift p. 256 irrthümlich angibt).

Dass endlich auch die Zwillingbildungen von der wachsenden Krystallfläche beeinflusst werden, ist leicht einzusehen, wenn man berücksichtigt, dass Zwillingbildung in einer theilweisen Orientirung der sich ansetzenden Krystalltheile besteht, und dass beim Wachsen eines Krystalles auf jeder Krystallfläche andere Richtungen der Anziehung und Orientirung vorzugsweise thätig sein müssen. Sehr lehrreich ist in dieser Beziehung das Beispiel vom Prehmit, wo auf der rechtwinklig angesetzten Pinakoidfläche die Zwillinglamellen sich rechtwinklig gekreuzt anlegen, während auf der schiefwinklig angesetzten Prismenfläche die Zwillinglamellen unter Winkeln von 60° eingelagert sind.

Keine der bisher beobachteten Erscheinungen liess einen Unterschied der beiden Richtungen parallel der Axe des Anwachskegels: vom Bildungsmittelpunkt zur Basis und entgegengesetzt erkennen. Es scheint aber, dass manche pyroelektrische Erscheinungen zumal an Topaskrystallen¹⁾ auf eine Polarität der Axe der Anwachskegel hinweisen. Bei dem Mangel eigener Erfahrungen auf diesem Gebiete verzichte ich darauf, in der Erörterung dieser Thatsachen weiterzugehen.

Zu den interessantesten und wichtigsten Anwendungen der Theorie der Anwachskegel gehören aber jene, welche sich auf die chemische Beschaffenheit derselben beziehen. Es sind nämlich unzweifelhafte Fälle nachweisbar, in denen sich die Anwachskegel verschiedener Krystallflächen durch die chemische Zusammensetzung unterscheiden.²⁾

Das auffallendste Beispiel hiefür geben gewisse Augite, die in basischen alkalireichen Eruptivgesteinen eine grosse Verbreitung haben und die in Durchschnitten nach der Symmetrie-Ebene einen Aufbau aus verschieden intensiv gefärbten Sektoren erkennen lassen. Van Werveke hat diese Erscheinung zuerst beschrieben, Rosenbusch hat dafür den Namen Sanduhrform eingeführt und die Erscheinung durch ein anfänglich skelettförmiges Wachstum

1) Vergl. C. Friedel und J. Curie. Comptes rendus **100**. 213. 1885. — K. Mack. Wiedemann Annalen **28**. 153. 1886.

2) Die chemische Verschiedenheit ist bisher in keinem Fall durch Analyse erwiesen, sondern nur aus solchen Erscheinungen, die erfahrungsgemäss mit chemischer Verschiedenheit in ursächlichem Zusammenhang stehen, (Färbung, optische Orientirung) erschlossen.

des Krystalls erklärt, wodurch die dunklen Antheile des Krystalls gebildet werden; später sollen sich die Lücken durch hellere eisenärmere Substanz ausheilen.

Auf meine Veranlassung hat Herr Blumrich, Assistent am mineralogischen Institut, die schönen Sanduhraugite vom Boxberg bei Schönhof einer genaueren Untersuchung unterzogen¹⁾, durch welche dargethan wurde, dass die in allen Schnitten nachweisbaren Sektoren den Anwachskegeln der Pyramidenflächen und der Längsflächen einerseits, den Prismen- und Querflächen andererseits entsprechen. Erstere sind heller gefärbt und haben eine kleinere Auslöschungsschiefe $c c$, sind also eisenärmer, letztere dunkler, mit grösserem Winkel $c c$ und eisenreicher.

Die in den beigegebenen Abbildungen gut sichtbaren umlaufenden Zonen, die der wohlbekannten Erscheinung der isomorphen Schichtung entsprechen, lassen mit Sicherheit erkennen, dass die hellen und dunklen Sektoren gleichalterig sind; die den Jahresringen vergleichbaren helleren Zonen streichen aus einem Sector ohne Unterbrechung nur mit geänderter der jeweiligen Oberfläche entsprechender Richtung in den benachbarten hinüber.

Durch diese Beobachtungen wird man zu der für den ersten Augenblick etwas befremdenden Annahme gedrängt, dass sich aus demselben Magma gleichzeitig auf verschiedenen Krystallflächen verschieden zusammengesetzte Substanz ausgeschieden habe. Zu demselben Resultat kommt auch Brögger, der ähnliche Verhältnisse am Homilit, Akmit und Aegirin beobachtet hat²⁾. Der genannte ausgezeichnete Forscher hat auch die Bedeutung des vorliegenden Problems ganz richtig erfasst, indem er hervorhebt, dass „die derselben Schale angehörigen, also gleichzeitig gebildeten Schichten verschiedene Zusammensetzung besitzen müssen.“

Ausserdem sind mir analoge Fälle noch bekannt am Ottrelith (die Anwachskegel der Prismenflächen dunkler als die der Endflächen), an dem Rosenbusch³⁾ die Anwachskegel abbildet; wahrscheinlich kommen auch beim Zinnwaldit ähnliche Verhältnisse

1) Herr Blumrich wird über seine Beobachtungen in den vom Verfasser herausgegebenen Tschermak's mineral. u. petrograph. Mittheil. berichten.

2) Zeitschr. f. Kryst. XVI. 1890. 155 (Homilit), 307 (Akmit), 327 (Aegirin).

3) Rosenbusch, Mikrosk. Physiogr. I. 3. Aufl. XXI. Fig. 3.

vor.¹⁾ Sie werden sich gewiss noch bei vielen Mineralen finden, wenn danach gesucht würde.

Es mag gleich hier hervorgehoben werden, dass alle bekannten Fälle sich auf Krystalle beziehen, die keine chemischen Individuen, sondern isomorphe Mischungen sind.

Zum Verständniss der hier stattfindenden Vorgänge sind die Ergebnisse wichtig, welche die physikalische Chemie bezüglich der übersättigten Lösungen zu Tage gefördert hat.²⁾

Damit es zur Ausscheidung von Krystallen und zum Fortwachsen derselben komme, ist erforderlich, dass die Lösung übersättigt sei, d. h. dass sie mehr Substanz gelöst enthält, als dem Gleichgewichtszustand entspricht; der Ueberschuss wird ausgeschieden.

Nun stellt sich durch die erwähnten Untersuchungen heraus, dass ein solcher Zustand der Uebersättigung nur Geltung hat für ein ganz bestimmtes festes Salz.

Das Verhalten ist am genauesten untersucht bei denjenigen Substanzen, welche verschiedene Hydrate bilden können. Eine Lösung von 95 Th. $Ca Cl_2$ in 100 Th. Wasser ist nach Backhuiz-Roozeboom bei $27^\circ C$ übersättigt für das Hydrat $Ca Cl_2 + 6 H_2 O$. Ein Krystall dieses Salzes in die Lösung gebracht wächst sofort weiter; dieselbe Lösung ist aber nicht übersättigt für einen Krystall $Ca Cl_2 + 4 H_2 O$, welcher sich vielmehr in der Flüssigkeit auflöst; erst bei weiterer Concentration bis zu einem Gehalt von etwa 98 Th. $Ca Cl_2$ oder bei Abkühlung bis unter $24^\circ C$. tritt auch für das Tetrahydrat Uebersättigung ein.

Aus diesen und anderen ähnlichen Beobachtungen ergibt sich die Bedeutung der Grenzfläche zwischen starr und flüssig. Von der Beschaffenheit dieser Grenzfläche ist der Uebersättigungszustand der Lösung abhängig. Nun stellen aber auch die verschiedenen Krystallflächen desselben Krystalls verschiedene Grenzflächen dar. Dies geht wohl unwiderleglich daraus her-

¹⁾ Baumhauer. Zeitschr. f. Krystall. 3. 113. 1879.

²⁾ Vergl. das Referat über diesen Gegenstand von Dr. E. Budde in Naturwissensch. Rundschau. 7. Nro. 6, 7, 1892, in welchem die einschlägige Literatur zusammengestellt ist.

vor, dass auch die Lösungsgeschwindigkeit der Krystallflächen ungleich ist.

Es kann somit der Uebersättigungszustand für verschiedene Krystallflächen verschieden sein; nicht in dem Mass, dass für die eine Krystallfläche Uebersättigung, für die andere Untersättigung vorhanden wäre; denn das würde unter gewissen Annahmen zu der paradoxen Folgerung führen, dass hemimorphe Krystalle in einer bestimmten Lösung ohne Zuthun äusserer Kräfte sich selbstthätig verschieben könnten. Der Sättigungszustand muss also wohl auf allen Krystallflächen dasselbe Vorzeichen haben. Wohl aber kann die Quantität der Uebersättigung oder die Wachstumsgeschwindigkeit auf verschiedenen Krystallflächen verschieden sein. Im Falle einer einfachen Lösung würde das nur die Form des sich ausscheidenden Krystalls in bestimmter Weise beeinflussen: die rascher wachsende Krystallfläche würde an der Oberfläche relativ gegen die langsamer wachsenden zurücktreten. Wenn aber die Lösung mehrere isomorphe Stoffe enthält, tritt eine weitere Complication ein. Es ist denkbar, dass auf einer Krystallfläche die eine Verbindung, auf einer zweiten die andere Verbindung die stärkere Uebersättigung besitzt. Die Folge ist dann der Absatz verschiedener Mischungen auf den ungleichen Krystallflächen, ungleiche Zusammensetzung der gleichzeitig aus derselben Lösung sich absetzenden Anwachskegel.

Wir sind zu Ende. Eine Reihe sehr verschiedenartiger Erscheinungen haben wir unter einem einheitlichen Gesichtspunkt auffassen gelernt. Bezeichnend für alle hier betrachteten Erscheinungen ist es, dass sie zurückführbar sind auf Störungen, Unterbrechungen der Homogenität. Würden wir aus den Krystallen alle diese störenden Elemente entfernen, würden wir zu absolut homogenen Krystallen übergehen, so würden auch alle die Erscheinungen verschwinden, die uns beschäftigt haben. Solche Krystalle sind es, die die Theorie im Auge hat, wenn sie die Krystalle als Systeme regelmässig angeordneter Massenpunkte betrachtet. Die realen Krystalle, die wir in den Mineralen vorfinden, die wir künstlich erzüchten, entsprechen dieser Theorie niemals vollkommen; sie zeigen eine Menge Erscheinungen, die diese Theorie auch nicht

voraussehen kann, die unserem Verständniss aber näher gebracht werden, wenn wir die Krystalle auffassen nicht als ein Ding, das da ist, sondern als ein Gebilde, das geworden ist.

Erklärung der Tafel:

Fig. 1—3 stellen Durchschnitte durch Augitkrystalle aus dem Basalt vom Boxberg bei Schönhof in Böhmen dar nach Photogrammen, die im mineral. Institut der deutschen Universität in Prag angefertigt wurden. Fig. 1 Schnitt $\parallel 010$. Fig. 2 Schnitt beiläufig $\parallel 100$. Fig. 3 Schnitt senkrecht zur Verticalaxe.

Fig. 4 ist ein Schnitt ähnlich Fig. 2 durch Augit der Nephelinbasaltlava vom Leilenkopf, Rhein. Vulcangebiet.



Fig. 1.

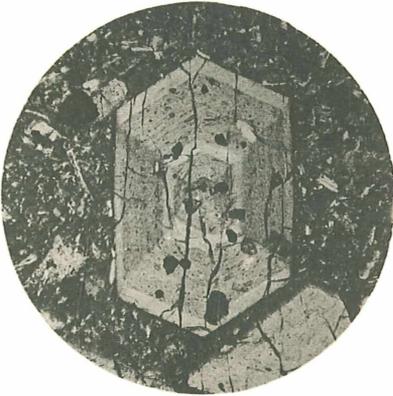


Fig. 2.



Fig. 3.

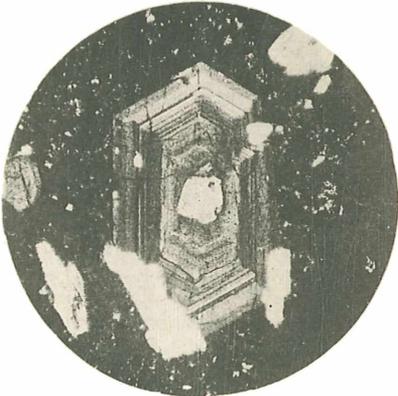


Fig. 4.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Lotos - Zeitschrift fuer Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1894

Band/Volume: [42](#)

Autor(en)/Author(s): Becke Friedrich Johann Karl

Artikel/Article: [Der Aufbau der Krystalle aus Anwachskegeln 1-18](#)