

Zur Frage der inneren Struktur der Kristalle.

Von

Emil Terlanday.

Mit 12 Textfiguren.

Ich beschrieb in den *Annalen der Physik*¹ ein Präparat, mit welchem ich durch schiefgelegte dünne Glaslamellen eine Lamellarität des Calcits nachzuahmen suchte. Läßt man das durch eine runde Öffnung durchgelassene Licht durch das Präparat durchgehen, so sieht man eine an die Doppelbrechung erinnernde Erscheinung. Sie kann nicht die vollständige Doppelbrechung sein, denn der Calcit zeigt ja in drei Richtungen Lamellaritäten, Spaltungslamellen; sie ist nur als eine komponentiale Erscheinung zu betrachten, welche sich in die vollständige Doppelbrechung überführen läßt.

Bezüglich der Erscheinung läßt sich folgendes kurz zusammenfassen:

1. Das Präparat polarisiert nicht das sämtliche durchgehende Licht: ein Teil geht unpolarisiert durch die Glasmaterie der nicht geteilten Lamellen durch und bildet in der Richtung der Neigung der Lamellen (welche Richtung ich immer nach rechts annehme) ein rundes Bild. Der andere Teil des Lichtes wird polarisiert, und zwar entstehen, so wie bei dem Calcit, zwei Bilder. Die Schwingungen des einen Bildes geschehen senkrecht zu der Oberfläche der Lamellen (transversale Schwingungen), die des anderen aber parallel mit der Oberfläche der Lamellen (parallele Schwingungen).

¹ *Ann. d. Phys.* **39**, p. 1207. 1912.

2. Das transversal schwingende Bild ist ähnlich dem außerordentlichen Bilde des Calcits charakterisiert. Die transversalen Schwingungen schneiden leicht die Lamellen, und es entsteht bei den kleineren und mittleren Graden der Neigung der Lamellen ein rundes Bild an der linken Seite des Zentrums (d. i. an der linken Seite der Stelle der Lichtöffnung), es gesellt sich aber an das Bild auch ein, mehr oder weniger sich nach rechts ausbreitender Lichtstreifen. Bei den größeren Graden (gegen 65°) dehnt sich auch das Bild selbst in die Breite aus und geht bei den noch größeren Graden immer mehr auf die rechte Seite des Zentrums über.

3. Das parallel schwingende Bild ist ähnlich dem ordentlichen Bilde des Calcits charakterisiert. Die parallelen Schwingungen gehen nicht so gut durch die Glaslamellen weder nach rechts noch nach links und sammeln sich so mehr in der Nähe des Zentrums an. Dieses Bild zeigt sich nur bei den ganz kleinen Graden rund und liegt ein wenig links vom Zentrum; es dehnt sich aber schon bei ca. $25-30$ Graden in die Breite aus und kommt dann mehr und mehr auf die rechte Seite zu liegen, aber es geht auch bei den hohen ($70-90^{\circ}$) Graden nicht so weit nach rechts, wie das transversal schwingende Bild.

4. Das unpolarisierte Bild verliert sich bei den kleinen Graden gänzlich und gibt seine Lichtmenge den zwei polarisierten Bildern über, welche dem Zentrum sich annähernd immer mehr zusammenfallen. Bei den großen Neigungsgraden wird das unpolarisierte Bild immer heller, die zwei polarisierten werden aber sehr schwach, und fallen immer mehr mit dem sich dem Zentrum nähernden unpolarisierten Bilde zusammen.

Betrachten wir nun die Bedingungen, durch welche sich diese komponentiale Erscheinung der vollständigen Doppelbrechung annähern läßt:

1. Nehmen wir die Glaslamellen womöglich dünn, so wird dadurch das unpolarisierte Bild etwas schwächer, denn es werden mehrere Strahlen der Polarisation ausgesetzt und vollständiger polarisiert, d. i. die zwei Formen der polarisierten Strahlen vollständiger voneinander getrennt.

2. Nehmen wir zu der einen Lamellarität des Präparates auch noch zwei andere, welche sich gemeinschaftlich und auch

die erste Lamellarität durchkreuzen, so kann das unpolarierte Bild nicht entstehen, denn die Strahlen treten aus der ursprünglichen Lamelle aus, und so wird das sämtliche durchgehende Licht der Polarisation ausgesetzt.

3. Durch das gemeinschaftliche Durchkreuzen der Lamellaritäten entstehen Intervalle, durch welche die nach oben reflektierten Strahlen reichlicher in senkrechter Richtung durchgehen; demzufolge werden die Bilder weniger in die Breite gehen und die Lichtstreifen schwächer werden.

4. Bei diesen Vorgängen ist das Verhalten der beiden Formen der Strahlen nicht dasselbe. Die parallelen Strahlen werden mehr in den Lamellen und in den Intervallen hin und her reflektiert und sie werden auch nach oben reichlicher in der senkrechten Richtung durchgehen; dieses Bild kommt also sehr nahe zum Zentrum zu liegen. Die transversalen Strahlen hingegen können, da sie leichter durch die Lamellen durchgehen, sowohl auf der linken Seite (bei geringeren Graden), wie auch an der rechten Seite (bei den größeren Graden) ein etwas weiter vom Zentrum fallendes Bild entstehen lassen.

Diese Art der Ableitung der Doppelbrechung zieht bezüglich der Struktur der Kristalle zwei wichtige Folgerungen nach sich:

1. Wir müssen die Kristalle aus kleinen Kriställchen aufgebaut annehmen. Diese Baukriställchen sind beim Calcit, als Endgebilde der Spaltbarkeit, kleine Rhomboeder, welche im Calcit Kolonnen und diese wieder Reihen bilden, die mit der Hauptebene, welche die zwei stumpfen Winkel des Spaltungsrhomboeders des Calcits halbiert, teils parallel, teils dazu senkrecht gehen. Die letzteren Reihen neigen sich so, wie die Lamellen des Präparates und verursachen in der Hauptebene die bekannte Erscheinung der Doppelbrechung.

2. Wir müssen zwischen den Baukriställchen eine Intervallenmaterie annehmen, welche einen anderen Brechungs-exponenten hat, als die Mineralsubstanz selbst. Machen wir nämlich das Präparat aus Glaslamellen derart, daß wir die Intervalle mit Kanadabalsam ausfüllen und mit einer Glasplatte die Oberfläche bedecken, so erhalten wir ein sehr schön durchsichtiges Präparat mit einem im Zentrum sich zeigenden

aber nicht polarisierten Bilde. Legen wir ein anderes Präparat in das Wasser, so ist die Doppelbrechung zu sehen, da das Brechungsverhältnis zwischen Glas und Wasser größer ist als im vorigen Falle (ca. $n = 1,14$), die Polarisation ist aber nicht mehr so rein, wie bei dem ursprünglichen Präparat selbst. Es scheint am günstigsten zu sein, wenn wir beim Calcit den Wert ca. $n = 1,17$ nehmen. Einen bedeutend größeren Wert (z. B. $n = 1,52$) anzunehmen scheint deswegen nicht entsprechend zu sein, da so ein größerer Teil des durchgehenden Lichtes zerstreut würde.

Es ist nun fraglich, wie diese zwei Folgerungen vom kristallographischen Standpunkte gerechtfertigt werden können. Lassen wir eine Salzlösung so verdampfen, daß wir dieselbe während des Erwärmens rühren, so daß an den Wänden und am Boden oder an der Oberfläche keine besondere Kristallbildung vorgehen kann, so bekommen wir, nachdem das Wasser ganz entwichen ist, einen Haufen, welcher aus kleinen schneegriesartigen Körperchen besteht. Im Mikroskop sieht man, daß diese Körperchen kleine Häufchen von Salzkristallen sind, welche ziemlich unregelmäßig sind, einige aber lassen gut die Hexaederform und an den Oberflächen auch kleine quadratische Plättchen sehen. Diese Kristalle bilden sich schwebend in der Lösung; so ist es wahrscheinlich, daß sich auch noch kleinere Kriställchen, die Baukriställchen schwebend in der Lösung bilden können.

Ich versuchte die Kristallisation auch in solcher Form, wie dies gewöhnlich gemacht wird, mit eingelegten Fäden und auch mit treppenartig nebeneinander, bzw. übereinanderstehenden Glasplatten. Diese Versuche aber vermischen zwei gut voneinander zu unterscheidende Kristallisationsverfahren, nämlich Kristallisation bei einem beiläufig gleichen Niveau und die Kristallisation mit einem sich verringernden Niveau.



Fig. 1.

Bei dem ersten Verfahren sieht man, daß sich an der Oberfläche nach ein bis zwei Tagen schwimmende (ca. 0,04 bis 0,08 mm große) Schüppchen zeigen, welche am häufigsten fremden Körperchen anhaften oder dieselben umgeben (Fig. 1).

Diese Gebilde scheinen Anhäufungen von sehr kleinen Salzkörperchen zu sein, es fehlt hier aber eine die eigentliche Kristallisation charakterisierende Akkommodation der Teilchen. Die Gebilde können sich nach einer längeren Zeit rosettenförmig auch zu größeren Scheiben vereinigen und sinken auch auf den Boden herab. — Außer diesen bildet sich auch eine Kruste, und zwar an beiden Seiten der Glasplatten; an der oberen Seite ist sie mehr mit fremden Körnchen verunreinigt, an der unteren Seite ist sie rein, zeigt sich etwas weißlich und haftet ziemlich gut an die Platte an. Sie bildet sich sehr langsam, so daß nur nach ein bis zwei Monaten etwas von ihr zu sehen ist. Im Mikroskop, in dem Lösungsmittel eingetaucht angesehen, zeigen sich stellenweise etwas größere (ca. 0,005 mm) separate Häufchen, diese sind aber an den meisten Stellen zusammenhängend und verschwindend klein, so daß die Kruste hie und da beinahe strukturlos erscheint und fast durchsichtig ist. Diese Häufchen müssen aus sehr kleinen Bestandteilen gebildet sein, welche im Mikroskop schon nicht mehr zu sehen sind, die aber den Charakter des festen Zustandes haben und so können sie für Körperchen mit ebenen Flächen, also eine Art von Kriställchen angenommen werden. Diese Kriställchen sind bedeutend kleiner wie die bei der gerührten Lösung sich bildenden oben erwähnten Kristalle, und können sich deswegen wahrscheinlich schon auch bei der in größerer Menge vorhandenen und weniger übersättigten Lösung bilden, in welcher sie auch durch längere Zeit sich halten, und nur an solchen Stellen, wo die Lösung sich verdichtet (an der Oberfläche, am Boden usw.) sich als unregelmäßige Häufchen ablagern. Es fehlt aber auch hier die regelmäßige Akkommodation, also die eigentliche Kristallbildung. Die erste Stufe der Akkommodation zeigt sich darin, daß die Teilchen stellenweise kürzere oder längere Linien bilden. Für wichtig ist hier zu bemerken, daß die Teilchen, wenn sie in der Lösung oder wenigstens an den dichteren Stellen der Lösung schon vor der eigentlichen Kristallisation entstehen können, um so mehr bei der eigentlichen Kristallisation, da die Lösung schon bedeutend dichter ist, vorhanden sein müssen.

Das zweite Kristallisationsverfahren enthält die eigentliche Kristallisation, welche ich bei mehreren Materien etwas

eingehender untersucht habe. Die Materien waren Kochsalz, Kali- und Natronsalpeter, Kupfervitriol und Eisenvitriol, Kaliumalaun, Calcit, Rohrzucker, Das Lösemittel war das Wasser. Die Kristallisation habe ich in Glasschalen (Durchmesser 6—8 cm) und in auf dem Objektträger angebrachten Tropfen beobachtet. Das zunächst Dargestellte bezieht sich hauptsächlich auf die Kristallisation des Kochsalzes, bezüglich des Verhaltens der anderen Lösungen werde ich an entsprechenden Stellen Bemerkungen machen.

In den Glasschalen (Tiefe der Lösung 8—10 mm) zeigen sich nach ein bis zwei Tagen an der Oberfläche die oben erwähnten Schüppchen (Fig. 1), dabei aber sieht man die eigentliche Kristallbildung noch nicht (dies natürlich auch bei anderen Lösungen), sondern erst dann, wenn nach einigen Tagen das Niveau der Flüssigkeit ganz unten steht, die Tiefe 2—3 mm beträgt. Dann beginnen aber die Kristalle an der Oberfläche in größerer Menge sich zu bilden, und zwar am liebsten an solchen Stellen, welche von fremden Körperchen am reinsten sind. Die Kristalle fallen unseren Augen sozusagen im Momente auf und wachsen schnell (in 5—10 Sekunden) zu einer Größe von etwa 0,08—0,2 mm, dann geht das Weiterwachsen langsamer, bleiben aber an der Oberfläche haften und nur wenn sie eine beträchtlichere Größe erreicht haben, sinken sie auf den Boden herunter, oder auch dann, wenn die Flüssigkeit geschüttelt oder verdünnt wird.

Beim Kaliumalaun, Kupfervitriol, bildeten sich die Kristalle im Sommer bei einer Zimmertemperatur von 21° C und 2 mm Tiefe am Boden. An der Oberfläche war kein Kristall zu sehen, obwohl sich im Winter, am meisten wenn feine kalte Luftzüge die Oberfläche verdichteten, auch an der Oberfläche Kristalle gebildet haben.

Beobachtet man die Kristallisation in Tropfen, so zeigt sich anfangs auch hier keine Spur von Kristallen. Nach 5 bis 20 Minuten, je nach der Größe des Tropfens, wenn die Flüssigkeit schon teils verdunstet ist, fangen an sich die Kristalle, zuerst am Rande, fast immer am Boden des Tropfens zu bilden, und zwar geht hier das Wachsen noch schneller als im vorigen Falle.

1. Die Bildung der Schichten. Sowohl in Glasschalen wie auch bei den Tropfen können wir im allgemeinen zwei Anfangsformen unterscheiden, nämlich eine kernartige, bei welcher das Weiterwachsen in allen Richtungen ziemlich gleich vor sich geht, und eine flächenartige, welche sich vorwiegend in der Richtung parallel der Oberfläche, bezw. des Bodens streckt. Die erste Form eignet sich weniger (wenigstens im Anfange) um die Art des Weiterwachsens zu beobachten, sie zeigt sich meistens rein und strukturlos, und das Weiterwachsen geschieht mehr in die Tiefe; bei der zweiten Form sieht man im Anfange auch nur eine ganz durchsichtige strukturlose Schicht, in Quadratform oder etwas länglich (Fig. 2), beim Weiterwachsen bildet sich aber darüber sehr



Fig. 2.

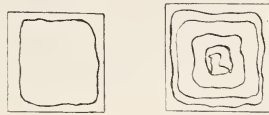


Fig. 3.

leicht eine zweite Schichte, über diesen lagern sich regelmäßig auch noch andere und es gesellt sich auch von unten eine Schichtbildung (Fig. 3).

Diese Schichtbildung zeigt sich aber, besonders im Tropfen, wo die Lösung dichter und das Verdampfen des Wassers schneller geht, zu grob, und deshalb ist die Form der Schichten nicht ganz regelmäßig und auch die Randlinien runden sich ab. Von dieser Schichtbildung muß unterschieden werden eine andere feinere Ablagerung, welche sich am besten bei den auf den Boden der Glasschale herabgesunkenen Kristallen (ziemlich schön auch bei Kupfervitriol) sehen läßt, wo an den Oberflächen sehr dünne, meistens kleine Schichtteile zu bemerken sind, welche eine charakteristische, sehr regelmäßige Form zeigen und die in großer Zahl vorkommen können (Fig. 4). Diese Ablagerungen sind bezüglich unseres Gegenstandes deswegen wichtig, da sie den Übergang zu der feinen Lamellarität des strukturlos sich zeigenden Kristalls

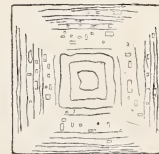


Fig. 4.

geben. Solche Ablagerungen lassen sich bei Natronsalpeter ziemlich gut auch in Tropfen sehen.

2. Die Existenz der Baukriställchen. Bei der erwähnten flächenartigen Anfangsform der Kristallbildung (Fig. 2) wählt die Natur gewöhnlich jene Kristallfläche, in deren Richtung der Kristall eine Spaltbarkeit zeigt. So ist diese Fläche bei Natronsalpeter die Rhomboederfläche, beim Kupfervitriol die große Prismenfläche $\{110\}$. Die übereinander lagernden Schichten zeigen also in diesen Fällen zugleich die Richtung der Spaltbarkeit, zeigen sich jedoch an ihrer Oberfläche, wenigstens im Anfange völlig strukturlos. Da aber diese Kristalle Spaltbarkeit auch in anderen Richtungen, welche die Hauptrichtung schneiden, besitzen, so ist die Strukturlosigkeit leicht nur so verstanden, wenn die kleinen, sich zusammenpassenden Teilchen, wie dies die Gebilde der erwähnten feineren Schichtablagerung uns vorzeigen, mit vollkommen ebenen Flächen versehene Körperchen, kleine Kriställchen sind.

Dies wird fast zweifellos, wenn wir in Betracht nehmen, daß der Kristall schon im ersten Momente seines Erscheinens sich als vollkommener Kristall zeigt, und zwar kann man sagen, je kleiner er sich sehen läßt, um so vollkommener und einfacher ist seine Form. Hier muß der Kern noch vor seinem Erscheinen im Mikroskop ein mit ebenen Seitenflächen versehenes Gebilde, ein Kriställchen sein. Der Kristall wächst nach seinem Erscheinen ziemlich schnell, und zwar im Anfange mit vollkommen geraden Linien, ebenen Flächen und mit vollkommenen Winkeln. Dieses Weiterwachsen geht in demselben Sinne voran, wie sich der Kristall im Anfang zeigte, so daß hier eigentlich an jeder Stelle dasselbe geschieht, wie an der Stelle des ersten Auffallens des Kristalls. So kommt, daß wenn wir den ersten Kern für ein Kriställchen annehmen, so müssen wir bezüglich der ganzen unmittelbaren Umgebung gleiches tun. Auch zeigt die Stelle des ersten Kernes gar nichts besonderes, so daß z. B. bei einer Beunruhigung auch andere mehrere Stellen zu Kernstellen werden können.

Es ist eine Frage, wann sich die kleinen Baukriställchen bilden, ob kurz vor der Kristallisation oder schon früher. Obwohl hier eine große Mannigfaltigkeit bei den verschiedenen

Materien angenommen werden muß, so zeigt sich doch eben wegen des schnellen Wachsens wahrscheinlich, daß dieselben schon früher entstehen können.

Die Form der Baukriställchen festzusetzen ist nicht so sehr sicher, da der neue Kristall schon ein Aggregat der Baukriställchen ist; auf etwas aber können wir doch folgern. So erscheint der neu entstandene Kristall des Kochsalzes entweder als Hexaeder, oder als eine sehr kleine quadratförmige oder längliche Fläche (solche sind auch die kleinen Gebilde der feinen Schichtablagerung) und wächst auch in diesem Sinne weiter, so daß wir den Hexaeder als die ursprüngliche Form für Baukriställchen annehmen können. — Beim Natronsalpeter zeigt sich der neue Kristall entweder als Rhomboeder oder er bildet eine kleine Fläche, welche einer Seitenfläche des Rhomboeders entspricht. Hier ist also der Rhomboeder die Form der Baukriställchen. — Beim Kupfervitriol zeigt sich



Fig. 5.

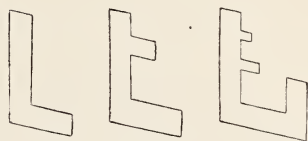


Fig. 6.

zuerst die Prismenfläche $\{110\}$ (Fig. 5), welche dann mehr oder weniger auch in die Tiefe wächst, so daß auch andere kleine Flächen entstehen, oder verlängert er sich in der ab -Richtung zu einem säulenförmigen Kristall. Hier müssen wir also eine der Fig. 5 nahestehende Form für das Baukriställchen annehmen. — Beim Kaliumsalpeter fand schon FRANKENHEIM¹ als Form des mikroskopischen Kristalls den Rhomboeder. Am Rande des Tropfens werden oft mehrere solche Formen ausgeworfen, wie dies die Fig. 6 zeigt, welche so auch weiterwachsen, man sieht aber, daß diese Formen sich eigentlich auch zu einem Rhomboeder ergänzen wollen. Die einzelnen Rhomboederteile passen hier ohne Scheidewand, strukturlos, zusammen. Diese Gebilde sind im Momente ihres

¹ FRANKENHEIM, Ann. d. Phys. 40. p. 447. 1837.

Erscheinens so dünn, daß sie unter den gekreuzten Nicols dunkel sind und nur stufenweise hell werden. Auch können wir Gebilde sehen, wie dies die Fig. 7 anzeigt, unter welchen die dünneren (ca. 0,001 mm dünn) auch dunkel bleiben.



Fig. 7.

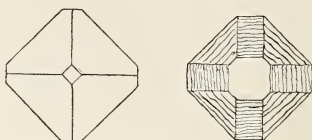


Fig. 8.

Beim Kaliumalaun bildet sich im Anfange, wie es scheint, immer ein sehr kleiner Oktaeder, welcher sich entweder auf eine Oktaederfläche legt und dann so auch weiterwächst, oder er bleibt mit der Oktaederspitze nach unten gerichtet stehen und dann werden beim Weiterwachsen die Oktaederspitzen abgestumpft, und es wird auf diese Weise die Hexaederfläche zur Basisfläche; auch können die Kanten des Oktaeders abgestumpft werden (Fig. 8). Wir müssen wahrscheinlich für die Form des Baukriställchens den Oktaeder annehmen.

Wenn sich der Kalialaun-Kristall in den Formen der Fig. 8 ausbildet, so zeigen die Seitenflächen unregelmäßige sich abrundende Schichtlinien, welche den Charakter der oben erwähnten größeren Schichtbildung haben und welche keine Spaltungsrichtung anzeigen. Kalialaun nämlich, wie aus der Natur des Zusammenpassens der Oktaeder folgt, läßt keine Spaltbarkeit in der Hexaederrichtung, er spaltet sich sehr unvollkommen nach dem Oktaeder.

3. Die Intervallenmaterie. Auch das Annehmen der Intervallenmaterie, welche ich bei der Doppelbrechung der Glaslamellenserie in Betracht nehmen mußte, erscheint auch aus den bei der Kristallisation sich darbietenden Erfahrungen ganz naturgemäß. In die Kristalle werden fremde Materien eingeschlossen, und zwar grobe Körner oder feine Nadeln, Schüppchen, oder auch eine sehr fein verteilte Farbmaterie. Mehrere Kristalle enthalten ziemlich viel Kristallwasser. Läßt man z. B. einen durchsichtigen Kupfervitriol-Kristall am Objektträger etwas erwärmen, so verschwindet ein Teil des Wassers, und der Kristall zeigt zwar die vorige

scharfe Randlinie, auch etwas von der früheren Schichtablage rung, wird aber undurchsichtig und erscheint im Mikroskop ganz weiß. Hier mußte das Wasser zwischen den Schichten, den aneinander gelagerten Teilen vorhanden gewesen sein.

Ich habe in Salzlösung, auch in Kupfervitriollösung, feinpulverigen Karmin eingemischt. Es läßt sich beobachten, wie die Karminkörner von der Umgebung gegen den wachsenden Kristall sich ziehen, wo dann die kleineren sehr leicht vom Kristall aufgenommen werden und auch einige von den größeren; wenn aber mehrere Körnchen sich um den Kristall ansammeln, so werden viele von ihnen vom Kristall weiter fortgeschoben, welche dann um den Kristall einen Saum bilden. Kobaltblau-Körnchen werden leichter, auch größere, aufgenommen. Auch kann man manchenmal sehen, daß Körnchen gegen den mittleren Teil des Kristalls über den Kristall hinströmen und dort sich ablagern. Mancher Kristall wird voll mit feinen Karminkörnchen, welche schichtenweise verteilt erscheinen.

Können aber in die Kristalle Körnchen oder Flüssigkeiten aufgenommen werden, so kann nebenbei um so mehr auch eine feinere Materie zwischen den Schichten und in kleinen Lücken vorkommen. Diese Intervallenmaterie kann nach dem Gesagten nicht einerlei sein. Sie enthält etwas von der Substanz des Kristalls, welche an der Bildung der Baukriställchen nicht teilnahm, dabei aber auch andere flüssige und gasförmige Materien.

Können wir die Baukriställchen als existierend annehmen, so ist die Annahme einer Intervallenmaterie fast notwendig. Beide zusammen lassen uns mehrere Erscheinungen der Kristallisation leichter verstehen, so z. B. das momentane Erscheinen und das schnelle Weiterwachsen des neuentstandenen Kristalls. Sind solche Baukriställchen schon vor der Kristallisation fertig, so umgeben sich dieselben mit einer etwas dichteren Schicht. Verringert sich das Lösungsmittel und nähern sich so die Baukriställchen einander, so wird dadurch einerseits der umgebende Saum dichter, andererseits aber fängt auch eine auf eine kleinere oder größere Zahl der Kriställchen sich ausbreitende gemeinsame Verdichtung (eine

dichtere gemeinsame Zwischensubstanz und eine äußere Schicht) an sich auszubilden, wodurch die sich fortwährend annähernden und gegen einander sich orientierenden Baukriställchen in einen gemeinschaftlichen, gewissermaßen schon regelmäßigen netzartigen Zusammenhang kommen. Fängt nun das Zusammenpassen der Baukriställchen an einer dichteren Stelle an, so wird sich dasselbe auch auf das ganze Gefüge ziemlich schnell ausbreiten können. Auf diese Weise kann auch im Momente ein bei seinem ersten Erscheinen im Mikroskop schon etwas komplizierteres Gebilde entstehen.

Auf ein solches Entstehen weisen auch andere Erscheinungen hin:

1. Damit sich größere Kristalle bilden können, muß die Flüssigkeit ziemlich ruhig stehen. So wird es möglich, daß sich der netzartige Zusammenhang auch weiter ausbreitet.

2. Je reiner die Flüssigkeit ist, um so leichter können größere und regelmäßige Kristalle entstehen. Ich fand, daß sich manchenmal auch zwischen vielen Karminkörnchen ein Kristall bildete; die Körnchen aber verdichteten das Lösemittel um sich selbst, und so hindern sie die regelmäßige Netzbildung.

3. Gießt man in die Glasschale etwas mehr von der gesättigten Lösung, so fangen sich die Kristalle doch nur bei einer, nahezu derselben Tiefe der Lösung zu bilden. Es wird sich dabei viel Salz an den Wänden ablegen, ein Teil verschwindet mit dem Wasserdampf, und ein Teil lagert sich auch (infolge stellenweise auftretender Verdichtungen) am Boden als kristallinischer Überzug ab, Kristalle aber fangen nur bei einer ca. 2—4 mm Tiefe an sich zu bilden. Bei dieser Tiefe wird die Oberfläche schon ruhiger und dichter und können auch die Baukriställchen eine entsprechend dichte Umgebung bekommen.

Ist die Verdichtung um die Baukriställchen nicht genügend, so fehlt die vorbereitende Anordnung derselben. Ich versuchte auch Calcitkristalle im Tropfen bei gewöhnlicher Zimmertemperatur zu erhalten, es bildeten sich aber überall nur kleine Häufchen, und es bedeckte ein feiner Niederschlag den Boden des Tropfens. — Der Gegensatz zeigt sich bei der Rohrzuckerlösung. Die gesättigte Lösung ist etwas zähe

und läßt man sie bei gewöhnlicher Temperatur in Glascshalen stehen oder nimmt man einen Tropfen, so bekommt man eine ziemlich strukturlose klebrige Masse, welche keine Kristallisation zeigt. Es ist hier leicht zu folgern, daß die Baukriställchen und auch kleine Teilchen von Zucker, welche an der Bildung der Baukriställchen nicht teilnehmen, die Flüssigkeit um sich so verdichten, daß hier eine Anlagerung wegen der sich zu dicht bildenden Intervallenmaterie nicht vorgehen kann. Ich habe deswegen einen solchen, schon nicht mehr flüssigen Tropfen an die Sonne gelegt, und nach einigen Tagen zeigten sich schon ziemlich viele Kristalle und auch charakteristische rosettenförmige Kristallhäufchen, welche unter den gekreuzten Nicols sehr gut erhellen. Später kristallisiert sich die ganze Masse. — Tropfen vom Kandiszucker zeigten auch nach mehreren Tagen keine Kristallisation. Dieser Zucker ist durch mehrere organische Körper verunreinigt, und diese hindern noch mehr das Verdampfen des Wassers.

Etwaige Kristallbildung muß aber auch hier noch vor der Sättigung der Lösung (wegen der dichteren Umgebung der Baukriställchen) vorkommen. Diese Kristallbildung ruft aber bei dem reichlichen Dasein der Lösemittel nur geringe Gruppen hervor, so daß sie sich durch das Mikroskop nicht sehen läßt, bewirkt aber die Drehung der Polarisations-ebene des Lichtes. Entstehen bei dieser Aneinanderlagerung feine Lamellen und ordnen sich von ihnen einige so (Fig. 9), wie bei den erwähnten Rosetten, so können solche, überall in der Lösung schwimmende und verschiedenartig gewandte Gebilde drehend auf das Licht wirken.



Fig. 9.

4. Die Definition der Baukriställchen. Die Baukriställchen sind nach dem vorher Gesagten schon als etwas kompliziertere Systeme zu betrachten, so daß es sich für notwendig zeigt, nachzuforschen, ob und wie deren Annahme mit anderen Tatsachen der Physik in Zusammenhang gebracht werden kann.

Um die Kristallform der Baukriställchen auf eine natürliche Weise ableiten zu können, bietet sich als Ausgang die

so allgemeine Annahme, gemäß welcher die Teilchen der Flüssigkeit, die sogenannten physikalischen Moleküle, kugelförmig oder ellipsoidförmig, . . . sind, und werden aus den chemischen Molekülen zusammengesetzt. Ich werde die physikalischen Moleküle im folgenden Stillen (Stilla) nennen, um dieselben von den chemischen Molekeln zu unterscheiden; dieser Name ist aber auch deswegen gerechtfertigt, da wir zu dem Begriff der physikalischen Moleküle auch auf folgendem Wege kommen können. Lassen wir Flüssigkeit sehr fein verteilen, so nehmen die kleinen Teile eine kugelförmige Form an, welche sich um so beständiger zeigt, je kleiner die Kügelchen sind. Die Kügelchen werden nämlich von einer Hülle der umgebenden Substanz begrenzt und die auftretende Oberflächenspannung verursacht auf der Oberfläche um so mehr eine Verdichtung, je geringer die Kügelchen sind. Auch bei der Nebelbildung aus dem gasförmigen Zustande zeigen sich sehr feine Kügelchen. Treffen sich bei einer weiteren Abkühlung zwei oder drei von diesen Kügelchen, so fließen sie zu einem Tropfen zusammen, da die äußere Hülle und so auch die Oberflächenspannung an den Berührungsstellen verschwindet und so mischen sich die Teile der Kügelchen miteinander. Können wir aber annehmen, daß die umgebende Hülle an den Berührungsstellen sich nur verdünnt, d. i. können wir im Inneren des Tropfens eine Intervallenmaterie annehmen, so muß es eine Grenze geben, bei welcher, falls die Kügelchen genügend klein sind, die feine Schichte der Intervallenmaterie und die damit verbundene Oberflächenspannung eine solche Dichte an der Oberfläche verursacht, daß die Kügelchen nicht mehr zusammenfließen, sondern zueinander genähert durch die Intervallenmaterie getrennt bleiben. Es ist nun wichtig, ob wir in dem Tropfen eine entsprechende Intervallenmaterie annehmen können. Achten wir aber darauf, daß in die Flüssigkeit sehr viele feine Körner, Teile anderer Flüssigkeiten, oder auch sehr viele luftförmige Körper aufgenommen werden, so können wir natürlicherweise darauf folgern, daß dort noch auch andere feine, schwer nachweisbare Materien enthalten sind, und daß etwas von diesen verschiedenen Materien auch nach sorgfältigster Behandlung zwischen den Stillen hängen bleibt. Mit diesen Annahmen deckt der

Begriff der physikalischen Moleküle der Flüssigkeit den der Stillen.

Wollen wir den ganz allgemeinen Fall vor den Augen halten, so müssen wir nicht nur die Teile einer Flüssigkeit, sondern auch die Teile eines gänzlich aufgelösten Körpers als solche Kügelchen (Stillen) annehmen. Diese schwimmen mit einer Hülle der Intervallenmaterie umgeben frei zwischen

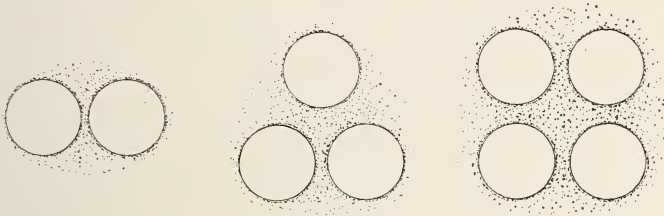


Fig. 10.

den Teilen des Lösemittels. Verringert sich das Lösemittel und nähern sich zwei bis drei von diesen Stillen, so können kleine Gruppen entstehen mit einer gemeinschaftlichen äußeren Hülle (Fig. 10). Wird die Verdichtung bei der weiteren Verminderung des Lösemittels größer, so wird sich diese bei den einzelnen Gruppen als ein Druck der gemeinschaft-

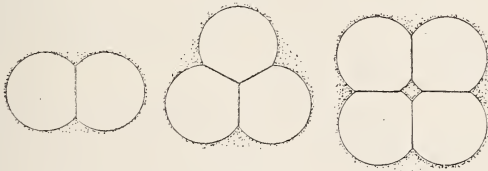


Fig. 11.

lichen Hülle und so als ein gegenseitiger Druck der einzelnen Stillen äußern, wodurch zwischen zwei nahestehenden Stillen je eine kleinere oder größere ebene Grenzfläche entstehen kann (Fig. 11). Diese Grenzebenen bilden sich nur mangelhaft und unregelmäßig, wenn dort mehrere Materien vermischt vorkommen, oder wenn die Intervallenmaterie zu dicht

oder zähe ist (wie dies z. B. bei den Kolloidsubstanzen wahrscheinlich ist), unter günstigen Umständen aber können sich regelmäßige ebene Flächen ausbilden und die Kügelchen umformen sich zu Polyedern. Dieses Polyederbilden führt dann unmittelbar zur Bildung der Baukriställchen dadurch, daß

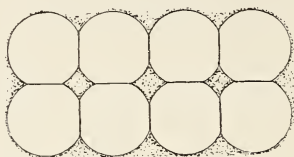


Fig. 12.

mehrere der kleinen Gruppen, welche eigentlich schon als die einfachsten Formen der Baukriställchen angesehen sind, sich anreihen (Fig. 12), und so die in der Lösung schwebenden Baukriställchen entstehen lassen.

Den Vorgang der Polyederbildung können wir zwar unmittelbar nicht beweisen, folgern können wir doch darauf aus dem Erstarren der Körper beim Übergange aus dem flüssigen Zustande in den festen, wo der Verlust des Leichtfließens bei vielen Materien sich ziemlich gut auch bei den sehr feinen Überzügen oder bei dem sehr feinen Verteilen der Materien als eine charakteristische Eigenschaft des festen Zustandes zeigt; — durch das Polyederbilden wird gerade dieses Leichtfließen aufgehoben.

Auch können hier einige Experimente erwähnt werden, welche zwar zu grob sind, um eine Beweisung bringen zu können, als Analogien aber doch nützlich sind. Läßt man aus einer Seifenlösung Blasen bilden, so stehen die einzelnen Blasen als Halbkugeln über der Flüssigkeit, gießen wir aber die Lösung in ein enges (ca. 0,5 cm) Gefäß und lassen wir dort die Blasen bilden, so bekommen wir auffallend schöne Polyeder. Die Seiten sind vollkommen ebene Flächen, deren zwei an die zwei nahestehenden Wände des Gefäßes anhaften und dort regelmäßige Sechsecke oder Fünf-, Vier-, Dreiecke bilden. Dieses Polyederbilden kann hier deswegen

vorgehen, da die Blasen ihre Selbständigkeit behalten und dabei einen Druck aufeinander gemeinschaftlich ausüben. Auch ist zu bemerken, daß das leichte Flußvermögen der Lösung bei dem Anhang der Polyeder ziemlich verloren geht. Durch Erwärmen wird das Bilden der Blasen gehemmt. Hier bildet die Polyeder ein luftförmiger Körper, die dichte Oberfläche und die Intervallenmaterie ein flüssiger.

Wir können aber auch mit zwei Flüssigkeiten, welche sich nicht mischen, ein gleiches Experiment anstellen. Gießen wir Schwefelkohlenstoff ins Wasser, so bildet der Schwefelkohlenstoff Kugeln, welche aber leicht zusammenfließen. Rühren wir aber den Schwefelkohlenstoff im Wasser um, so können wir erlangen, daß die Kugeln eine etwaige Beständigkeit bekommen und in einem engen Gefäße eine Polyederbildung sehen lassen. Dieses Polyederbilden ist aber nicht so vollkommen wie im vorigen Falle, da hier das Wasser als Intervallenmaterie nur einen verhältnismäßig geringen Druck ausübt und mehr nur die Schwerkraft tätig ist.

Auch mit Paraffinkügelchen läßt sich ein ähnliches Experiment vollziehen. Die Kügelchen erhalten an der Oberfläche beim Anfertigen eine etwas dichtere Schicht, und wenn solche Kügelchen in eine Glasschale mit senkrechten Wänden nebeneinander gelegt werden, so fließen sie nach einer längeren Zeit bei einer etwas wärmeren Zimmertemperatur gegeneinander und es bilden sich zwischen ihnen ebene Trennungsflächen, welche gut unterschieden werden können. Ist aber die Wärme größer, so daß die Oberfläche der Kügelchen schmilzt, so wird das Bilden der ebenen Trennungsflächen verdorben. Hier ist der gegenseitige Druck auch nur gering und ist mehr nur die Schwerkraft wirksam.

Es wäre nun noch wichtig nachzusuchen, welche Umstände bei dem Bilden der Form der Polyeder bzw. der der Baukriställchen eine Rolle spielen. Wenn die Stillen ziemlich gleich sind und die Materie einerlei, so werden sich sehr einfache Polyeder bilden können, auch die Form der Baukriställchen wird einfach (Hexaeder, Tetraeder oder Oktaeder). Auch kann hier sehr viel die Größe des zwischen zwei Stillen auftretenden Druckes, sowie auch die Nacheinanderfolge der Anlagerung der kleinen elementaren Gruppen viel beitragen.

Es sind auch solche Fälle nicht auszuschließen, wo zuerst zwischen den Gruppen der Stillen ebene Trennungsfächen entstehen und dann folgt erst das Polyederbilden und das darauf kommende Ausbilden der gemeinschaftlichen äußeren Form.

Aus dem Gesagten läßt sich auch das genügend sehen, daß der Begriff der Baukriställchen nicht zu streng genommen werden kann, so viel aber können wir ganz allgemein von ihnen aussagen, daß ein Baukriställchen ein Materie-system ist, welches durch Polyeder (umgeformte physikalische Moleküle der Flüssigkeit) aufgebaut wird, zwischen welchen eine zu dem System angehörende Intervallenmaterie vorhanden ist.

5. Ein Gesetz der Konstruktion der Körper. Wir sind im vorigen zu dem Erfolg gekommen, daß der Begriff der physikalischen Moleküle der Flüssigkeit mit dem Begriffe der beim Niederschlage des gasförmigen Körpers entstehenden Kügelchen (Stillen) zusammenfällt, wenn wir die Kügelchen sehr klein nehmen und zwischen ihnen eine Intervallenmaterie angenommen werden kann. Um näher zu der Definition der Stillen zu gelangen, müssen wir nachsuchen, wie dieselben aus den chemischen Molekülen entstehen. Wir erfahren, daß sowohl im freien Raume wie auch in einem geschlossenen Gefäße bei der Abkühlung bzw. Zusammen-drücken des gasförmigen Körpers sich Zentrums aufweisen, wo durch Verdichtungen die physikalischen Moleküle der Flüssigkeit entstehen. Dies ist entweder so möglich, daß sich zwei, drei usw. chemische Moleküle gruppieren, oder daß sich Teile des gasförmigen Körpers verdichten und durch eine dichtere Oberfläche sich von der übrigen Masse abtrennen. Da die chemischen Moleküle in gasförmigem Zustande sehr frei sich bewegen, so ist die zweite Annahme wahrscheinlicher.

Bei beiden Arten der Stillenbildung scheint es notwendig zu sein, daß wir auch zwischen den chemischen Molekülen eine Intervallenmaterie annehmen, denn so läßt sich leicht verstehen, daß zwei Moleküle bei dem freien Bewegungsvermögen nebeneinander gruppiert verbleiben oder daß sich eine abgrenzende Oberflächenschicht bilden könne. Die An-

nahme der Intervallenmaterie ist aber auch deswegen naturgemäß, da wir wissen, daß sich unter keinen Umständen ein ganz leerer Raum herstellen läßt und auch ein solcher nicht, wo ein Gas ganz allein abgesondert werden könnte; neben den nachweisbaren Materien sind aber sehr wahrscheinlich auch mehrere andere Materien vorhanden.

Bei der Gruppenbildung wird ein Teil dieser Intervallenmaterie von den chemischen Molekülen als ihre Begrenzungsmaterie mitgenommen, ein anderer Teil bildet die Umgebung der Gruppen. Bei der zweiten Art der Stillenbildung zeigen sich die Umstände noch natürlicher. Bei dieser wird eigentlich im Inneren der Stillen der gasförmige Zustand beibehalten, nur ist die Bewegung der chemischen Moleküle beschränkter.

Beide Arten der Stillenbildung weisen dahin, daß die Stillen als Materiesysteme definiert werden können, welche durch die chemischen Moleküle, als Systeme niederen Ranges aufgebaut werden, zwischen welchen letzteren eine zu dem Systeme gehörende Intervallenmaterie vorhanden ist.

Wir können die chemischen Moleküle deswegen wieder Systeme nennen, da sie aus den Atomen zusammengesetzt sind, und zwar sind sie im Vergleiche gegenüber den Stillen Systeme niederen Ranges. Die Atome wurden als nicht weiter teilbare Körper angenommen, auf Grund neuerer Untersuchungen aber wird es wahrscheinlich, daß auch diese aus noch kleineren Teilen zusammengesetzt sind, sind also auch Systeme.

Meine hier beschriebenen Untersuchungen gehen nicht so weit, daß ich aus diesen bezüglich der Struktur der Moleküle oder der Atome auf etwas folgern könnte, es ist aber wahrscheinlich, daß wir keinen Fehler begehen, wenn wir auch hier eine entsprechende Intervallenmaterie annehmen; dann aber läßt sich so ein Gesetz zum Vorschein bringen, welches sich als ein ziemlich wichtiges Gesetz der Konstruktion der Körper erweist, und welches wir beiläufig auf folgende Weise aussagen können:

Die Körper sind Materiesysteme, welche aus gut charakterisierbaren Systemen niederen Ranges

bestehen, zwischen welchen letzteren eine zu dem System gehörende Intervallenmaterie vorhanden ist; die letzteren Systeme bestehen weiterhin wieder aus Systemen noch niedrigeren Ranges mit einer zum Systeme gehörenden Intervallenmaterie; und so in infinitum.

Für dieses Gesetz spricht die Erfahrung, daß die Körper, je eindringender ihre Struktur durch Nachforschen bekannt wird, sich um so zusammengesetzter erweisen, und die Idee zu einem einfachen, unteilbaren Endkörperchen zu gelangen, scheint eine Täuschung zu enthalten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: [1914](#)

Autor(en)/Author(s): Terlanday Emil

Artikel/Article: [Zur Frage der inneren Struktur der Kristalle. 93-112](#)