Fließende Kristalle und Organismen.

Von

O. Lehmann.

Mit Tafel VIII und 5 Figuren im Text.

Eingegangen am 25. März 1906.

Der Gedanke einer Beziehung zwischen Kristallen und Organismen ist im Laufe der Zeit schon oft aufgetaucht und ebenso oft zurückgewiesen worden. HAECKEL brachte ihn mit großer Entschiedenheit in seiner »generellen Morphologie« (1866) zum Ausdruck und neuerdings in seinen »Lebenswundern« (1904). Die Entdeckung der »flüssigen«¹⁾ und der »scheinbar lebenden«²⁾ fließend weichen Kristalle hat zur Erkenntnis weiterer Analogien geführt, deren nähere Prüfung von Interesse sein dürfte. Da die Lehrbücher der Physik, Chemie und Kristallographie, trotzdem bereits 16 Jahre seit der ersten Beobachtung flüssiger Kristalle vorübergegangen sind, noch immer eine »abwartende« Stellung einnehmen und keine Beschreibung der fraglichen Gebilde bringen, mag ein kurzer Hinweis darauf an diesem Orte nicht unnötig erscheinen. Ich gebe diese Zusammenstellung von Analogien ohne Anlehnung an irgend eine Theorie der Lebenserscheinungen, da ich in dieser Hinsicht im wesentlichen der Ansicht des Herausgebers dieser Zeitschrift³⁾ beistimme, nach welcher zunächst vom biologischen Standpunkt das Minimum dessen, was zu einem Lebewesen gehört, festzustellen und alsdann zu prüfen ist, was sich auf rein physikalischem und chemischem Gebiete Ähnliches vorfindet. Gab es eine Zeit, in welcher man Urzeugung als etwas Selbstverständliches betrachtete, so ging man zu einer andern Zeit in Zurückweisung dieser Annahme so weit, daß sogar die chemische Herstellung

¹⁾ O. LEHMANN, Flüssige Krystalle. Leipzig 1904.

²⁾ O. LEHMANN, Chemikerzeitung. 30, 1. 1906, und Ann. d. Phys. 19, 22 u. 407 und 20, 63, 67. 1906; Die Umschau. Nr. 17. 1906.

³⁾ W. ROUX, Die angebliche künstliche Erzeugung von Lebewesen. Die Umschau. 10, 141. 1906.

»organischer Stoffe« unmöglich und nur die Synthese »anorganischer Stoffe« im Laboratorium (ohne Zuziehung von Organismen) möglich sein sollte. Die moderne Chemie hat gezeigt, daß letzteres nicht zutrifft, ist es doch den Bemühungen E. FISCHERS gelungen, Wege aufzufinden, auf welchen sogar die künstliche Darstellung der kompliziertesten Eiweißverbindungen erreicht werden dürfte. Auf Grund dieser Erfahrung muß auch die Zumutung, die bei Lebewesen auftretenden Kräfte von vornherein als grundsätzlich verschieden von physikalischen Kräften zu betrachten, abgelehnt werden, es ist vielmehr erlaubt und geboten nachzuforschen, inwieweit die Lebenserscheinungen sich auf physikalische Kräfte zurückführen lassen, schon deshalb, um zu einer klaren Definition des hypothetischen, bei den Lebensvorgängen mitwirkenden weiteren Faktors zu gelangen, welcher der von HAECKEL als »dualistischen« bezeichneten Auffassung gemäß nicht mit diesen Kräften identisch ist und die Naturgesetze, denen sie im Reiche der anorganischen Welt gehorchen müssen, beeinflusst oder aufhebt¹⁾.

1. Der Keim.

Eine erste Analogie zwischen Kristallisation und Lebenserscheinungen ist die Notwendigkeit eines Kristallisationskerns zur Erzeugung eines Kristallindividuums entsprechend der Notwendigkeit eines Keims zur Entstehung eines Lebewesens. Eine unterkühlte Schmelze oder übersättigte Lösung kann allmählich als Ganzes fest werden, wenn Kristallisationskerne fehlen. Die Wirkung der Einführung eines solchen ist äußerlich nicht unähnlich der des Einbringens eines Keims einer Bakterienart in Nährgelatine.

Übersättigte Lösung wie Nährgelatine stellen gewissermaßen ein labiles System dar, welches durch Einbringen des Keims zum Übergang in die stabile Anordnung veranlaßt wird, nicht in der einfachen Art, wie ein Kartenhaus beim Anstoßen zum Einfallen gebracht wird, woher der etwas irreleitende Ausdruck »labil« stammt, sondern entsprechend den Gesetzen der Thermodynamik, nach welchen die Gleichgewichtslage (oder bei irreversiblen Prozessen die Endlage) erreicht wird, wenn die Entropie den größten Wert angenommen hat, den sie unter den gegebenen Verhältnissen erreichen kann²⁾.

¹⁾ Siehe auch H. PRZIBRAM, Österreich. Rundschau. 5, 296. 1906 und E. v. HARTMANN, Das Problem des Lebens. Bad Sachsa im Harz 1906.

²⁾ Siehe auch CHWOLSON: HEGEL, HAECKEL, KOSSUTH usw. 1906.

Der Keim wirkt wahrscheinlich auslösend, er beseitigt eine Hemmung, so daß die durch das Entropiegesetz geforderten Vorgänge sich abspielen können. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Kristallkeimen und organischen Keimen besteht aber darin, daß erstere durch nicht näher bekannte Vorgänge von selbst entstehen können, und zwar je nach den Umständen, z. B. je nach der Schnelligkeit des Wachsens der Konzentration in verschiedener Anzahl, während organische Keime, soweit unsre bisherigen Erfahrungen reichen, und, falls man nicht etwa die von BURKE mittels Radiumstrahlen in Nâhr-gelatine erhaltenen Gebilde (entgegen der oben zitierten Auffassung von ROUX) zu den Organismen rechnet, niemals von selbst ohne Lebens-tätigkeit entstehen können.

2. Das Wachstum.

Charakteristisch für Kristalle wie für Lebewesen ist ihre Fähigkeit zu »wachsen«. Im Prinzip muß auch eine amorphe Substanz (flüssig oder fest) zur Ausscheidung kommen, wenn es das Entropiegesetz verlangt; dieses Gesetz lehrt aber nichts über die Zahl der von selbst entstehenden Keime und es widerspricht demselben nicht, daß die Ausscheidung anstatt durch Wachstum eines Keims durch Vermehrung der Anzahl von unsichtbar kleinen Keimen geschieht¹⁾. Ein Stück Leim z. B. wächst nicht, wenn man es in erkaltende Leimlösung einsetzt, es entstehen vielmehr neben demselben unzählige unsichtbare Keime, eine colloidale Lösung (Sol) bildend, die sich schließlich zu einer schwammigen, die ganze Flüssigkeit durchsetzenden Masse, einer

¹⁾ Entgegengesetzter Ansicht ist OSTWALD (Zeitschr. f. phys. Chemie. 7, 227. 1891), welcher meiner Definition des Unterschiedes von Kristallen und amorphen Körpern, nach welcher erstere dadurch charakterisiert sind, daß sie wachsen können, entgegenhält: »Letztere Eigenschaft kommt jedem Stoff zu, der mit seiner übersättigten Lösung heterogen ist, d. h. derselben gegenüber eine Begrenzungsfläche zeigt.« Ebenso sagt SCHÄUM (Habilitationsschrift. Marburg 1904. S. 35): »Es gibt keinen zureichenden Grund, welcher der Bildung einer in bezug auf eine amorphe Substanz übersättigten Lösung entgegenstände; in einer solchen muß aber die amorphe Substanz unbedingt weiter wachsen, denn wenn man von einer in bezug auf eine Substanz übersättigten Lösung spricht, so heißt dies, daß der osmotische Druck der gelösten Substanz größer ist als der Lösungsdruck des zu lösenden Körpers unter dem Lösungsmittel. Infolgedessen herrscht an der Berührungsstelle zwischen der zu lösenden Phase und der Lösung kein Gleichgewicht und es muß an derselben so lange eine Ausscheidung des gelösten Körpers stattfinden, bis das Gleichgewicht erreicht ist. Es ist also unzweifelhaft, daß amorphe Körper ebenfalls zu wachsen vermögen.«

Gallerte (Gel), zusammenflocken. Ein Stück amorphen Zuckers löst sich in Zuckerlösung stets auf, wie konzentriert dieselbe auch sein mag, es wächst niemals. Ein Gemisch von Phenol und Wasser, welches über der »kritischen Lösungstemperatur«¹⁾ homogen ist, scheidet sich unterhalb derselben in zwei flüssige Phasen, aber nicht in der Weise, daß ein phenolreicher Tropfen entsteht, welcher in der phenolärmeren Lösung »wächst«, sondern es entsteht ein Nebel feinsten Tröpfchen infolge der Bildung zahlloser Kondensationskerne ganz ähnlich wie bei der Ausscheidung von Wasserdampf aus Luft oder von flüssiger Kohlensäure bei Abkühlung des Gases unter die kritische Temperatur. Größere Tropfen entstehen nur durch Zusammenfließen dieser winzigen Tröpfchen.

Eigentlich sollte allerdings nach der Thermodynamik ein Tropfen bzw. Kristall sofort das Übergewicht erhalten und die Bildung der übrigen unmöglich machen oder dieselben aufzehren, wenn sie bereits entstanden sind, da die Dampf- bzw. Lösungstension mit der Krümmung der Fläche wachsen soll. Meinen Beobachtungen gemäß ist aber jener Satz wahrscheinlich unrichtig, die Dampf- bzw. Lösungstension ist ebensowenig von der Oberflächenkrümmung abhängig wie die Löslichkeit oder der Schmelzpunkt eines Kristalls von dessen Größe oder der Richtung²⁾. Jedenfalls entstehen Kondensationskerne bei größerer Übersättigung von selbst, wenn auch bei geringeren Graden derselben, speziell bei Wasserdampf, die Zählung der Tröpfchen in elektrisierter Luft geradezu (nach J. J. THOMSON) eine Zählung der vorhandenen als Kondensationskerne dienenden Elektronen ermöglicht. Bei der äußerst hohen Übersättigung, wie sie bei Ausfällung schwerlöslicher Niederschläge bei Mischung passender Reagentien oder beim plötzlichen Gelatinieren (nach langsam verlaufender Reaktion bereits gemischter Reagentien oder bei Temperaturänderungen) eintritt, wird die Zahl der Kerne außerordentlich hoch und dementsprechend die Größe der die colloidale Lösung zusammensetzenden Körnchen (Kriställchen oder durch allmähliche Entziehung des Lösungsmittels allmählich eingedickter und eingeschrumpfter, amorph erstarrter Tröpfchen) außerordentlich klein.

Ein scheinbar dem Kristallwachstum vergleichbares Wachsen zeigt sich bei sog. »künstlichen Zellen«, indem die durch Aneinanderreihung von derartigen unsichtbaren Körnchen entstandenen »Niederschlags-

¹⁾ Siehe O. LEHMANN in FRICK, Phys. Technik. 6. Aufl. Bd. I. S. 408. § 197.

²⁾ Siehe O. LEHMANN, Ann. d. Phys. 17, 728. 1905 u. Phys. Zeitschr. 1906.

membranen« durch den entstehenden osmotischen Druck ausgedehnt werden, so daß sich neue Körnchen einschieben können, die aus den durch die Membran getrennten Reagentien sich ausscheiden. Natürlich ist aber eine solche Häufung von Keimen an der Grenze zweier Flüssigkeiten eine ganz andre Erscheinung als das Wachstum eines Keims in einer Flüssigkeit.

Als wesentlichen Unterschied des Wachstums von Organismen gegenüber dem der Kristalle betrachtet man, daß letzteres durch Ap-
position erfolgt, während Lebewesen durch Intussusception wachsen, ähnlich den künstlichen Zellen, ohne aber, wie diese, Aneinander-
grenzen verschiedener Flüssigkeiten vorauszusetzen. Das Wachstum der fließenden Kristalle beruht indes auch auf einer Art Intus-
susception, wie weiter unten erörtert werden soll.

3. Das Aufzehren.

Ein Kristall vermag einen andern von gleicher chemischer Zusammensetzung entweder bei direkter Berührung oder unter Vermittlung des Lösungsmittels »aufzuzehren«, falls dieser eine labile Modifikation darstellt. Ursache ist, wie ich zuerst durch mikroskopische Untersuchungen gefunden habe¹⁾, daß dieselbe Lösung zwei oder mehr verschiedene Sättigungspunkte haben kann entsprechend den verschiedenen Modifikationen, während nach der altherkömmlichen Auffassung nur ein Sättigungspunkt existieren sollte.

Ein amorpher Körper wird stets von einer in derselben Lösung befindlichen kristallinen Modifikation derselben Substanz aufgezehrt, oft auch schon bei direkter Berührung (Entglasung). Kann der Kristall durch chemische Reaktion zwischen andern Stoffen unter Vermittlung eines Lösungsmittels entstehen, so werden in gleicher Weise letztere beim Wachsen des Kristalls aufgezehrt — ein Analogon zur Verdauung verspeister fester Körper bei Organismen.

4. Die Gestalt.

Die Kugelform, welche ein der Schwere entzogener freischwebender Flüssigkeitstropfen annimmt, kann betrachtet werden als das Ergebnis des Gleichgewichts zwischen Kohäsion und Expansivkraft; erstere sucht die Moleküle einander zu nähern, um so stärker, je

¹⁾ Siehe O. LEHMANN, Flüssige Krystalle. Leipzig, W. Engelmann, 1904. S. 158, 195, 207, 247.

größer ihre Abstände, letztere (d. h. ihr Bewegungszustand) treibt sie auseinander. Man kann dieses Gleichgewicht auch so auffassen, als wäre der Tropfen in ein überall gleich beschaffenes elastisches Häutchen eingeschlossen, welches durch die Stöße der Moleküle auf seine Innenseite gespannt erhalten wird.

Hieran ändert sich, wie ich gefunden habe, nichts, wenn eine »molekulare Richtkraft« hinzutritt, welche eine gesetzmäßige Struktur im Tropfen erzeugt, obschon das Oberflächenhäutchen bei solchen »Kristalltropfen« nicht mehr an allen Stellen gleiche Beschaffenheit hat. Man muß also annehmen, daß die Oberflächenspannung unabhängig ist von der Art der Anordnung der Moleküle.

Kristalltropfen von genau kugelförmiger Gestalt können z. B. erhalten werden bei Paraazoxyphenetol. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Flüssigkeitstropfen können sie, wie Kristalle, wachsen, d. h. sich beträchtlich vergrößern, ohne daß daneben neue Kondensationskerne entstehen. Ihre Struktur kommt schon bei Betrachtung in gewöhnlichem Licht zum Ausdruck dadurch, daß ein Tropfen, dessen Symmetrieachse in die Sehrichtung fällt¹⁾, einen dunkeln Kern mit verwaschenem Hof im Centrum zu enthalten scheint (Fig. 1 a), während bei Querdurchsicht von diesem Kern nichts zu sehen ist, sondern statt dessen eine Art bikonvexer Linse, deren Achse mit der Symmetrieachse zusammenfällt und deren Rand in der Kugeloberfläche liegt (Fig. 1 b). Deutlicher tritt die Struktur im polarisierten Licht hervor, wobei z. B. in der ersten Stellung zwei Quadranten gelb, die andern weiß erscheinen²⁾ und zwischen gekreuzten Nicols außerdem, abgesehen von Interferenzfarben, ein schwarzes (oder infolge von Drehung der Polarisations-ebene farbiges) Kreuz die weißen und gelben Quadranten trennt³⁾. Ist die Temperatur auf Ober- und Unterseite verschieden, so kommt der Tropfen (vermutlich infolge der Anisotropie bezüglich der Zähigkeit [Viscosität] der Oberflächenschicht) in bestimmtem Sinne in Rotation; zuweilen erleidet auch die Struktur eine Verdrehung wie bei den

Fig. 1.

¹⁾ Fig. 1 Taf. VIII zeigt eine Momentphotographie solcher Tropfen. Einige derselben erscheinen verwaschen, da sie während der Exposition zu größeren Tropfen zusammenflossen. (Lösungsmittel: Öl mit einer Spur Kolophonium.)

²⁾ Solche Tropfen zeigt Fig. 2 Taf. VIII. Gelb kommt hier natürlich als Grau zum Ausdruck.

³⁾ Eine Photographie stark aneinander gepreßter Tropfen ist Fig. 3 Taf. VIII. Für Rotation und Drehung der Polarisations-ebene ist Kolophoniumzusatz nötig.

Tropfen Fig. 4 Taf. VIII; bei Aggregaten mehrerer Tropfen treten infolge solcher Verdrehung die Grenzlinien der einzelnen Individuen deutlich hervor (Fig. 5 Taf. VIII). Wird ein Kristalltropfen in ein magnetisches Feld gebracht, so dreht er sich zunächst so, daß die Symmetrieachse den magnetischen Kraftlinien parallel wird, außerdem stellen sich alle nicht zu nahe bei dieser Achse oder der Oberfläche liegenden Moleküle so ein, daß eine der Auslöschungsrichtungen ebenfalls mit den Kraftlinien zusammenfällt (Fig. 6 Taf. VIII).

Ebensowenig wie die Oberflächenspannung werden auch alle übrigen Eigenschaften der Substanz durch die Art der Aggregation der Moleküle im Tropfen beeinflusst. Demgemäß ist z. B. die Löslichkeit an allen Stellen dieselbe, ebenso die Temperatur der Umwandlung in die isotrop flüssige sowie in die feste Modifikation usw., und zwar nicht nur im Falle des Gleichgewichts, sondern allgemein auch bei beliebiger Störung der Struktur, etwa durch Umrühren.

Abweichungen von der Kugelform treten nur bei solchen Stoffen auf, bei welchen sich neben der molekularen Richtkraft Anisotropie bezüglich der Reibung nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern bemerkbar macht, z. B. bei der fließend-kristallinen Modifikation des Paraazoxyzimtsäureäthylesters von VORLÄNDER¹⁾. Man

Fig. 2.

kann hier Übergänge von der Kugelform zu einer hemimorphen Pyramide beobachten, wie sie die Fig. 2 a und b darstellen, wobei die Molekularstruktur (die Lage der einen Auslöschungsrichtung an jeder Stelle) durch Strichelung angedeutet ist²⁾. Die nahezu kugelförmigen Gebilde entsprechen einem geringeren Maße von Viscosität,

wahrscheinlich bedingt durch Aufnahme von Lösungsmittel in die Kristalle. Wäre es möglich, das Maß der Viscosität über das der reinen Substanz zu steigern, so würden schließlich normale Pyramiden mit ebenflächiger Begrenzung und homogener Struktur entstehen.

Da die Oberflächenspannung, wie bemerkt, unabhängig ist von der Molekularanordnung, so können die Abweichungen von der Kugel-

¹⁾ Zu beziehen von der chemischen Fabrik E. MERCK in Darmstadt. Siehe auch VORLÄNDER, Bericht d. d. chem. Ges. 39, 803. 1906, und BÜHNER, Diss. Marburg 1906. (Lösungsmittel: Monobromnaphthalin in sehr geringer Menge.)

²⁾ Die Fig. 8 zeigt solche gerundete Pyramiden und Prismen im polarisierten Licht. Die runden Scheibchen mit Kern im Centrum sind aufrecht stehende Stäbchen, deren Querschnitt ist also nahezu kreisförmig.

form nur dadurch bedingt sein, daß die Wirkung der Expansivkraft infolge der Hemmung durch die Viscosität nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene ist, und zwar, wie aus der Hemimorphie geschlossen werden kann, selbst nach entgegengesetzten Richtungen¹⁾. Natürlich müssen dennoch in der ganzen Wirkung und Gegenwirkung einander gleich sein.

Über die Ursache der Form bei Organismen ist nichts Näheres bekannt. In manchen Fällen, wenn durch äußere Umstände, z. B. durch die infolge der polyedrischen Gestalt von selbst eintretende verschieden starke Diffusionsströmung nach Ecken, Kanten und Flächen oder durch Aufnahme fremder nicht isomorpher Stoffe das normale Kristallwachstum gestört wird, können auch Kristalle (z. B. Schneesterne, Eisblumen) in ähnlichen Formen auftreten wie organische Gebilde²⁾.

5. Die Regeneration.

Eine auffällige Eigentümlichkeit der Organismen ist das Ausheilen von Verletzungen. Auch bei Kristallen zeigt sich ein gewisses Regenerationsvermögen. Würde man z. B. die gerundete Pyramide Fig. 2 b zu einer Kugel zusammendrücken und dann wieder freigeben, so würde sie alsbald die ursprüngliche Form annehmen, die ja nur durch das Gleichgewicht der molekularen Kräfte bedingt ist. Man könnte dieses Verhalten ein »elastisches« nennen, indes bezieht sich der gewöhnliche Gebrauch dieses Wortes auf starre Kristalle, d. h. solche, aus welchen man ein Stäbchen schneiden kann, welches seine Form dauernd behält und nicht wie ein aus einem fließenden Kristall geschnittenes sich sofort zur Polyederform zusammenzieht.

Auch bei starren Kristallen kann sich eine abgeschliffene oder abgebrochene Ecke wiederherstellen, wenn man nur den Kristall in schwach übersättigte Lösung bringt. In eben gesättigter Lösung kann

¹⁾ Zum Unterschied von der Elastizität nenne ich deshalb die Kraft, welche die polyedrische Gestalt der fließenden Kristalle bedingt, die »Gestaltungskraft« (Verh. d. d. phys. Ges. 8, 143. 1906).

²⁾ Auch »künstliche Zellen« können, wie besonders QUINCKE, LEDUC u. a. gezeigt haben, ähnliche Formen annehmen; ferner Myelinformen (siehe O. LEHMANN, Flüssige Krystalle. S. 253) und elektrolytische Bildungen (ibid. S. 135, Fig. 8 Taf. 39 u. S. 215). Einer Zeitungsnotiz zufolge hat Dr. STADELMANN in Dresden neuerdings sehr interessante Formen dieser Art erhalten (Wissensch. Wochenbeil. d. Magdeburgischen Zeitung, Nr. 12 vom 19. März 1906).

das Ausheilen, falls alle Temperaturschwankungen ausgeschlossen sind, nicht eintreten, da die Löslichkeit an allen Stellen der Oberfläche dieselbe ist ¹⁾).

6. Die Homöotropie.

Ein Lebewesen, z. B. eine Amöbe, kann die mannigfaltigsten Gestaltänderungen und Strukturstörungen erleiden, und nimmt, sich selbst überlassen, schließlich doch wieder genau den ursprünglichen Zustand an, falls keine Verletzung, etwa durch Zerschneiden, eingetreten ist. Die flüssigen und fließenden Kristalle verhalten sich ganz ebenso. Man kann die Struktur eines Kristalltropfens in beliebiger Weise stören durch mechanischen Eingriff, elektrische oder magnetische Kräfte, stets wird sie nach Beseitigung dieser Störungen wieder die anfängliche werden. Dieses Bestreben der Moleküle, die normale durch die Richtung der an der Oberfläche befindlichen Moleküle bestimmte Stellung anzunehmen, nannte ich »spontane Homöotropie«. Während des Zwanges haben die Moleküle das Bestreben, sich den Zug- und Druckrichtungen entsprechend anzuordnen (ähnlich wie im Magnetfeld entsprechend der Kraftlinien und Niveaulächen), wie sich besonders bei den nicht vollkommen flüssigen, weichen und speziell bei den »fließenden Kristallen« zeigt. Man kann ein völlig ungeordnetes Aggregat derselben durch fortgesetzte Deformation in gleicher Richtung in eine nahezu einheitlich auslöschende Masse (Fig. 7 Taf. VIII) umwandeln (»erzwungene Homöotropie«).

7. Die Copulation.

Zwei einfache Lebewesen können zu einem einzigen Individuum von gleicher Beschaffenheit zusammenfließen. Solange man nur starre Kristalle kannte, welchen naturgemäß die Fähigkeit des Zusammenfließens überhaupt fehlt, schien hier eine grundsätzliche Verschiedenheit von Lebewesen und Kristallen vorzuliegen. Die Entdeckung der fließenden Kristalle hat sie beseitigt. Kristalltropfen können ohne weiteres wie Öltropfen zusammenfließen. Im ersten Momente bleibt allerdings meist die Struktur der beiden Komponenten in dem entstandenen größeren Individuum noch erhalten und bei größeren Aggregaten sieht man eine entsprechende Zahl von Kernpunkten mit rundem Hof, sowie Punkte mit viereckigem Hof (an Zahl um einen weniger),

¹⁾ Zu anderm Ergebnis kommt H. PRZIBRAM, Zeitschr. f. Krist. 39, 576. 1904.

welche den Berührungsstellen der Grenzlinien entsprechen (Fig. 9 Taf. VIII); infolge der »spontanen Homöotropie« stellt sich aber nach und nach von selbst einheitliche Struktur her, falls dies der Kontakt mit den Glasflächen nicht unmöglich macht.

Bei der Copulation von fließenden Kristallen, welche mehr oder weniger regelmäßige polyedrische Form besitzen, wird im allgemeinen auch die resultierende Gestalt ohne weiteres derjenigen der Komponenten gleich, häufig aber läßt sich an entstandenen Vorsprüngen usw. bei verschiedener Größe der Individuen der Ort der Verschmelzung noch nachträglich erkennen. Würden z. B. zwei gerundete Pyramiden wie Fig. 3 *a* zusammenfließen, so entstünde eine Pyramide wie Fig. 3 *b* mit ringsumlaufendem Wulst, welcher letzterer der Verdickung durch das Einfließen der kleinen Pyramide entspricht. Fließen nacheinander viele kleine Pyramiden ein, so entstehen entsprechend viele Hervorragungen, die Gebilde werden knorrig, wie Fig. 10 Taf. VIII nach einer Photographie für Paraazoxymizsäureäthylester zeigt. Der Dichroismus und das Verhalten im polarisierten Licht lassen leicht erkennen, daß trotz der unregelmäßigen Form die Struktur eine einheitliche ist.

Fig. 3.

Bei den weicheren kugelförmigen Gebilden derselben Substanz (Fig. 2, S. 602) entstehen solche knorrigte Auswüchse nicht, es resultiert eine den Komponenten gleichartige Kugel mit einer einzigen Abplattung, falls dieselben in übereinstimmender Stellung zusammenfließen. Findet die Copulation in verdrehter Stellung statt, so erhält die resultierende Kugel zwei Abplattungen in entsprechender Stellung und durch Zusammenfließen vieler Individuen in abweichender Stellung resultieren Kugeln mit entsprechend vielen Facetten, die sich dann gewöhnlich regelmäßig über die Kugeloberfläche verteilen, so daß rosettenartige Gebilde entstehen, wie solche in der Photographie Fig. 11 Taf. VIII zu erkennen sind.

Treffen die beiden Komponenten in gerade entgegengesetzter Lage mit den beiden Abplattungen zusammen, so erfolgt nicht Vereinigung zu einem einzigen Tropfen, sie bleiben lediglich aneinander haften, eine Doppelkugel (Zwilling) bildend. Solche sind ebenfalls auf der genannten Photographie zu erkennen. Der Fall entspricht dem der Vereinigung zweier entgegengesetzter Pyramiden mit ihren Basisflächen

zu einer scheinbar holodrischen Pyramide, welche aber in Wirklichkeit ein Zwilling ist.

8. Die Selbstteilung.

Selbst nach Entdeckung der flüssigen und fließenden Kristalle ließ sich kein Analogon zur Selbstteilung und Knospung bei Organismen auffinden. Erst bei den eben besprochenen noch nicht lange bekannten fließenden Kristallen des Paraazoxyzimtsäureäthylesters und zweier homologer Ester wurde ein solcher Vorgang beobachtet. Die zuletzt besprochenen Doppelkugeln oder Zwillinge können nämlich auch von selbst entstehen, indem an der Abplattungsstelle eine Vorwölbung in Zwillingsstellung anwächst und sich immer mehr vergrößert, bis sie gleichen Durchmesser erreicht hat wie die ursprüngliche Kugel. Dann tritt gewöhnlich Zerfallen des Gebildes ein, die neu angewachsene Kugel oder »Knospe« fällt ab und kann nun ebenso wie die ursprüngliche Kugel wieder eine Knospe treiben. Die Photographien Fig. 12 und 13, welche letztere leider nicht ganz scharf ist, zeigen eine Anzahl von Kugeln in diesem Teilungsvorgang. Gewöhnlich bleiben die beiden Teile durch ein cylindrisches Zwischenstück verbunden, welches gleichen Durchmesser wie die beiden Kugeln annehmen kann, so daß sich die Kugel in ein bakterienartiges Stäbchen verwandelt. Die Photographie Fig. 14 Taf. VIII läßt zahlreiche solche Stäbchen erkennen. Ihre Struktur, wie sie sich aus dem Dichroismus und dem sonstigen optischen Verhalten ergibt, ist in Fig. 4 *a* und *b* angedeutet. Auch diese Stäbchen können sich plötzlich von selbst teilen,

Fig. 4.

Fig. 5.

wobei an der betreffenden Stelle kurz vor der Teilung (durch Lichtbrechung vorgetäuscht) eine Art Scheidewand sichtbar wird, indem sich dort die Molekularstruktur ähnlich gestaltet wie an der Berührungsstelle zweier mit den Abplattungsstellen aneinandergewachsenen Kugeln. Die entstehenden Teilstücke nehmen sofort Gestalt und Struktur des ursprünglichen Stäbchens an (Fig. 5 *a* und *b*). Hiernach scheint es, daß die Stäbchenform eine Art labiler Molekularanordnung darstellt, die durch den Teilungsvorgang in eine weniger labile übergeführt wird.

9. Die Intussusception.

Die eben besprochenen Stäbchen mit oder ohne Kugeln an den Enden nehmen, falls die Lösung schwach übersättigt ist, beständig an Länge zu, ohne Änderung ihrer Dicke. Daß sie wachsen, ist nicht merkwürdig — jeder andre Kristall würde unter solchen Umständen ebenfalls wachsen —, anscheinend ganz unverständlich ist aber das Konstantbleiben der Dicke, obschon sich doch das neu hinzukommende Material an der ganzen Oberfläche ausscheiden muß. Augenscheinlich wird jedes neu hinzugekommene Molekül sofort ins Innere gezogen, ähnlich wie ein kleines Kristallindividuum durch die oben besprochene Wirkung der Homöotropie sofort im Körper des großen Kristalls aufgeht, mit dem es zusammengefloßen ist. Es treibt dabei die bereits vorhandenen Moleküle auseinander und zwar nach der Richtung, in welcher sie den geringsten Widerstand leisten. Wäre eine solche Anisotropie bezüglich der Plastizität nicht vorhanden, so müßte in gleicher Weise eine Zunahme der Dicke wie der Länge erfolgen. Nur dadurch, daß eine Dehnung in der Richtung der Dicke (d. h. der optischen Achse) erhebliche Kraft erfordert, Dehnung in der Längsrichtung dagegen nur eine unmerklich geringe, erklärt sich das einseitige Längenwachstum, welches oft mit überraschender Schnelligkeit sich vollzieht, so daß plötzlich das ganze Gesichtsfeld mit einer vielfach gewundenen Schlange bedeckt ist (Fig. 15 Taf. VIII). Die Fig. 16 Taf. VIII zeigt solche Schlangen im polarisierten Licht, wobei die einzelnen Teile je nach ihrer Lage infolge des Dichroismus weiß oder gelb (in der Photographie grau) erscheinen.

10. Die Bewegungserscheinungen.

Häufig biegt sich ein Stäbchen, ja es kann sich abwechselnd nach der einen und andern Seite krümmen und wurmartige schlängelnde Bewegungen ausführen. Ganz besonders gilt dies von den zuletzt erwähnten großen Schlangen, bei welchen durch die oft sehr raschen Bewegungen auch entgegenstehende Hindernisse fortgestoßen werden können. Ursache ist augenscheinlich einseitige Stoffzufuhr, falls das die Schlange umgebende Gebiet minder übersättigter Lösung (der Hof) an der betreffenden Stelle etwa infolge einer ruckweisen Bewegung der Flüssigkeit verschoben wird, so daß eine Seite des Cylinders mehr Stoff aufnehmen, sich somit mehr verlängern muß als die gegenüberstehende. Die hierdurch bedingte Krümmung ver-

mehrt noch die Verschiebung des Hofes, muß sich also selbst verstärken. Außer dieser schlängelnden Bewegung zeigen die fraglichen Gebilde auch eine fortschreitende, bald vorwärts, bald rückwärts gerichtete, welche ebenfalls eine Folge der Verschiebung des Hofes sein dürfte, insofern eine Längsverschiebung desselben infolge der auftretenden Differenzen der Oberflächenspannung eine »Kontaktbewegung« (Ausbreitungsbewegung) der Flüssigkeit gegen das betreffende Ende des Stäbchens verursacht, als deren Rückwirkung eine Bewegung des Stäbchens selbst in entgegengesetzter Richtung auftritt. Die bei Kugeln zuweilen auftretende Rotation dürfte auch auf Kontaktbewegung beruhen, welche sich einstellt, wenn die Temperaturen auf Ober- und Unterseite wesentlich verschieden sind, infolge der Anisotropie bezüglich der Viscosität an der Oberfläche, durch welche sie auch diese bestimmte Richtung erhält.

Ob diese Bewegungen in irgendeinem Zusammenhang stehen mit denjenigen, welche bei niedrigsten Lebewesen auftreten, entzieht sich meiner Beurteilung¹⁾. Immerhin hat man schon wiederholt als Ursache amöboidaler Plasmaströmungen die Kontaktbewegung angesehen²⁾ und da auch Organismen durch Intussusception wachsen, allerdings nicht in der primitiven Art wie fließende Kristalle, sondern unter Mitwirkung von chemischen Reaktionen (Assimilation und Dissimilation), so dürften wenigstens entfernte Analogien auch zu der erwähnten Schlängelbewegung aufzufinden sein.

11. Vergiftung.

Die Bildung der Stäbchen, Schlangen usw., sowie deren Fähigkeit sich selbst zu teilen und sich zu bewegen, kann durch Zusatz fremder Stoffe zu der Lösung, die von den Kristallen durch Adsorption während des Wachstums aufgenommen werden, beeinträchtigt oder völlig gestört werden³⁾, in ähnlicher Weise wie auch das Wachstum starrer Kristalle durch Beimischung nicht isomorpher Stoffe, welche sich mit denselben zu Mischkristallen vereinigen, gestört wird. Man kann hierin ein Analogon zu den Vergiftungserscheinungen bei Organismen

¹⁾ Siehe auch K. FUCHS, Sitzungsber. d. Wien. Akad. 99, 2a. 967. 1890.

²⁾ Siehe O. LEHMANN, Molecularphysik. Leipzig, W. Engelmann, 1889. Bd. II. S. 499; WIED. Ann. 56, 771. 1895; Flüssige Krystalle. S. 252.

³⁾ Auch das Auftreten der Rotation, Verdrehung und Drehung der Polarisationsebene bei Kristalltropfen von Paraazoxyphenetol in Öl bei Zusatz von Kolophonium, Cholesterylbenzoat usw. (s. Flüssige Krystalle. S. 78. § 15) kann als Vergiftungserscheinung aufgefaßt werden.

sehen, wenn auch ein »Absterben« natürlich nur insofern eintritt, als die genannten Funktionen aufhören. Als wirklicher »Tod« der scheinbar lebenden Kristalle wäre etwa ihre Umwandlung in die starrkristallinische Modifikation aufzufassen, welche eintritt, sobald die Temperatur unter den Erstarrungspunkt sinkt, soweit nicht Überkühlung eintritt. Indes ist der Vorgang meist ein reversibler (enantiotroper), da die Gebilde bei Wiedererwärmung zu neuer Tätigkeit erwachen, während das Absterben der Organismen zu den irreversiblen Vorgängen gehört, d. h. auf natürlichem Wege nicht rückgängig gemacht werden kann. Immerhin gibt es auch fließende Kristalle, welche irreversibel (monotrop) erstarren, z. B. die des Ammoniumoleats, erhalten durch Einleiten von Ammoniakgas in alkoholische Ölsäurelösung. Diese haben eine begrenzte Lebensdauer, welche durch Beimischung von Trimethylaminoleat verlängert werden kann — ein Analogon der Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Organismen durch Kreuzung.

12. Kreuzung.

Mischkristalle können sich bei fließend-kristallinischen Stoffen auch durch Copulation bilden, d. h. durch mechanische Vermischung der beiden Stoffe. In vollkommener Weise ist diese nur möglich bei ähnlicher chemischer Zusammensetzung der Komponenten, d. h. im Falle des Isomorphismus — ein Analogon der Kreuzung von Organismen gleicher Art. Chemisch differente Stoffe bilden im allgemeinen nur in beschränktem Maße Mischkristalle und die Kristalltropfen erscheinen zuweilen aus äußerst feinen Lamellen oder Fasern zusammengesetzt (z. B. bei Mischung von Paraazoxyphenetol und Cholesterylbenzoat), d. h. es treten Störungen der Struktur ein wie bei Bildung starrer Misch- und Schichtkristalle aus nicht isomorphen Komponenten (trichitische Aufblätterung oder Zerfaserung, Sphärokristalle) z. B. bei Mischung von Kupferchlorid und Salmiak oder bei künstlicher Färbung von Meconsäure mit Gentianaviolett. Das Analogon bei Organismen ist die Bildung von Bastarden bei Paarung verschiedener Arten und von Blendlingen bei Paarung verschiedener Rassen.

Karlsruhe, 24. März 1906.