© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lepidoptera) noch der Bearbeitung harren. Es könnte deshalb bei weiterer Durchforschung dieser Salzstellen noch manches Salzinsekt aufgefunden werden. Indes müssen wir mit unserem bisherigen Ergebnis recht zufrieden sein, um so mehr als wir leider zusehen müssen, wie die Salzstellen in der Wetterau und am Fuße des Vogelsbergs von Jahr zu Jahr mehr und mehr eingeengt werden. Jene von Trais-Horloff und von Salzhausen bei Nidda sind kaum noch kenntlich, die bei Selters und Ortenberg unweit des altehrwürdigen Klostergutes Konradsdorf gelegenen sind schon zum größten Teil in Wiesenland umgewandelt und auch die von Nauheim und Wisselsheim schwinden unter der eingehenderen Bodenbewirtschaftung immer mehr. Möge ein gütiges Geschick sie davor bewahren, künftigen Geschlechtern nur noch eine geschichtliche Begebenheit zu sein!

Rhythmenbildung in der Natur

mit 2 Abbildungen

von **Raphael Ed. Liesegang**

Natura non facit saltus.

Immer neue Beweise bringt die Wissenschaft gegen den alten Ausspruch, daß die Natur keine Sprünge mache. In der Physik ist es namentlich die Quantentheorie. In der Lehre von der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Lebewesen hat man ein Sprunghaftes kennen gelernt: die Mutationen. Aus dem weiten Gebiet, das zwischen diesen Polen der Wissenschaften liegt, sei ein Allbekanntes herausgegriffen, das leicht erkennen läßt, weshalb in solches Sprunghafte eine Regelmäßigkeit hineingelangen kann, sodaß es zum Rhythmischen wird.

Ein Wasserhahn ist weit aufgedreht. Das kontinuierliche Abfließen des Wassers wird zu einem Sprunghaften: zu einem rhythmischen Abtropfen, wenn der Hahn nun fast zugedreht wird. Eine kleine Wassermenge ist aus dem Rohr ausgetreten. Sie fällt nicht gleich herunter: bleibt an der Mündung hängen. Sie vergrößert sich kontinuierlich, denn der Zufluß aus dem Rohr-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

innern ist ununterbrochen. Ein Tropfen so groß wie der vorher abgefallene hat sich gebildet: noch haftet er. Sobald nun noch eine äußerst geringe Wassermenge hinzugetreten ist, reißt nicht nur der letzte Überschuß ab, der nicht mehr getragen werden kann, sondern fast der ganze Tropfen.

Es fällt hier also nichts oder fast alles. Man wird bei einer solchen Betrachtung an Regeln erinnert, die z. B. in der Lehre von manchen physikalischen und chemischen Vorgängen im menschlichen Organismus von großer Bedeutung sind. Auch dort gibt es vielfach ein „alles-oder-nichts-Gesetz". Auch dort rechnet man mit Summationen. Es muß eine ganz kleine Überschreitung stattfinden, dann entladet sich alles, bis auf einen kleinen Rest. So kann es auch dort zu rhythmischen Vorgängen kommen.

Die Jahreszeiten wechseln miteinander ab. Zur Zeit der Schneeschmelze reißt ein Fluß viel mehr Gesteinspartikel mit sich als zur wasserärmeren Sommerzeit. So können Schichtungen in den Absetzungen entstehen, die er an seiner Mündung dem Meer liefert. Das ist die Folge eines „äußeren Rhythmus", im Gegensatz zu dem vorher genannten. Mit dem Wechsel der Jahreszeiten fallen die Blätter der Bäume ab und ergrünen diese wieder neu. Als Folge hiervon entstehen die Jahresringe der Bäume. Und doch darf man hier nicht ausschließlich von einem Rhythmus sprechen, der den Bäumen von außen — von etwas, was im Planetensystem begründet ist — aufgedrängt wird. Denn gewisse Bäume unserer Zone, die in ein Klima ohne kältere Jahreszeiten gebracht wurden, behielten den Wechsel in der Laubtracht bei und bildeten weiter Jahresringe. Man ist geneigt zu sagen: sie haben sich im Lauf der Jahrmillionen an diesen Wechsel gewöhnt. Aber das ist keine physikalische oder chemische Erklärung, die wir doch später einmal auf alle Lebensvorgänge anwenden möchten. Vorläufig kann man nur sagen: es ist auch ein „innerer Rhythmus" in den Bäumen wirksam neben dem äußeren.

Perlen, Gallensteine, Elfenbein und viele andere Gebilde der organisierten Natur haben einen regelmäßig geschichteten Aufbau. Es ist noch nicht möglich, mit Bestimmtheit zu sagen, ob das rhythmische in dem sie bildenden System selbst liegt, oder ob es irgendwie von außen zugetragen wird. Bequemer ist es natürlich, wenn man bei den Erklärungsversuchen alles äußeren

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Rhythmen zuweist. Aber es sind auch hier schon Bestrebungen im Gange, um zu sehen, wie weit man kommt, wenn man mit inneren Rhythmen rechnet.

Im Gebiet der nicht lebenden Natur ist die Entscheidung meist leichter. Bei einem Besuch des Steinbruchs zu Münzenberg in der Wetterau fallen schöne rote und andersfarbige Bänderungen des Sandsteins auf, welche unmöglich auf einen ruckweisen Absatz des tonreichen Sandes selbst zurückgeführt werden können. Denn man findet, daß die farbigen Bänder parallel zu ehemaligen Spalten laufen, die den Sandstein nach allen möglichen Richtungen durchsetzen konnten. Außerdem ziehen sich um feine Kanäle, welche den Sandstein von oben bis unten durchsetzen, und welche die Wurzelröhren ehemaliger Pflanzen darstellen, oft mehrfache braunrote Kreise. All das kann nur zustande gekommen sein durch nachträgliche Bewegung eines Eisensalzes im bereits abgelagerten Sand. — Denn das Färbemittel ist Eisenoxyd.

Trotzdem könnte man hier an einen äußeren Rhythmus denken. Daß z. B. periodisch zudringende eisenhaltige Wässer in den Sand eintraten und an ihren jeweiligen Grenzen ein Band von Eisenoxyd hinterließen. Diesen Effekt kann man bei Versuchen mit vielen Salzlösungen erhalten, wenn man in Abständen hintereinander Tropfen auf die gleiche Stelle eines trockenen Filtrierpapiers gibt, das vorher mit einem Salz getränkt worden war, das einen Niederschlag mit dem später aufgesetzten bildet. Soviel Tropfen man aufsetzt, soviel konzentrische Bänder um die Stelle der aufgesetzten Tropfen herum erhält man. F. E. Runge, der Entdecker des Karbols, hat diese Erscheinung 1855 in seinem Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe“ beschrieben.

Nun aber hat sich gezeigt, daß man auch mit einem einzigen Tropfen zahlreiche konzentrische Bänder erhalten kann, wenn man anstelle des Runge'schen Filtrierpapiers eine feuchte Gelatineschicht (Gallerte) benutzt, welche z. B. auf einer Glasplatte ausgebreitet ist. Bei Runge zogen die Tropfen fast augenblicklich durch Kapillarkraft ein; d. h. durch das, was die Löschpapierwirkung ausmacht. Bei der Gallerte handelt es sich dagegen um ein Eindringen durch „Diffusion“, die außerordentlich viel langsamer erfolgt. Durch diese Langsamkeit werden periodische Niederschlagsbildungen möglich, die bei Runges Versuch nicht auftreten konnten. Diese Vorgänge seien etwas ausführlicher beschrieben, weil sie nicht allein für die Erklärung

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Bänderung des Sandsteins von Münzenberg, sondern auch für diejenige der Achate und manches andere Bedeutung erlangt haben.

Zwei wäßrige Lösungen: die eine von dem farblosen salpetersauren Silber, die andere von dem orangegefärbten doppelchromsauren Kali mögen zusammengegossen werden. Es entsteht sofort ein formloser roter Niederschlag des im Wasser unlöslichen Silberchromats. Bei einem zweiten Versuch werde in einem Reagenzglas das doppelchromsaure Kali (Bichromat) mit soviel warmer Gelatinelösung gemischt, daß die Masse beim Abkühlen zu einer Gallerte erstarrt. Gießt man nun die Silberlösung (Silbernitrat) darüber, so kann sie sich nicht mehr regellos damit vermischen, sondern sie muß von der Oberfläche aus allmählich hineinziehen: Eindiffundieren. Das dauert gewöhnlich mehrere Tage. Auch hierbei bildet sich der unlösliche rote Körper. Da er in der Gallerte nicht zu Boden sinken kann, sollte man annehmen, er müßte ganz gleichmäßig darin verteilt sein. Das ist auch zuweilen der Fall. Aber wenn man die richtigen Stärken (Konzentrationen) der Salzlösungen getroffen hat, dann tritt ein ganz anderer Effekt auf. Es wechseln streifenweise undurchsichtige rote Stellen mit farblosen klaren ab. Nur die ersteren enthalten Silberchromat, die letzteren sind frei davon. — Die Niederschlagsbildung ist also periodisch erfolgt.

Eine Theorie, welche Wilhelm Ostwald hierfür aufgestellt hat, gibt vorläufig noch die beste Auskunft, wo man den Übergang zum Rhythmischen zu suchen hat. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, daß ihr mancherlei noch Schwierigkeit macht. Aber dies soll hier unbeachtet bleiben.

Es ist zweifellos, daß von Anfang bis zum Schluß die überschichtete Silbernitratlösung ganz kontinuierlich immer tiefer in die Gallerte hineindringt. Auch die eigentliche chemische Umsetzung, also die Bildung von Silberchromat erfolgt kontinuierlich. Aber nun kommt etwas, was bei dem Versuch in der gewöhnlichen wäßrigen Lösung gewöhnlich nicht bemerkt wird. Es kann nämlich Silberchromat entstehen, ohne daß sofort ein Niederschlag auftritt. Dies ist einer der wichtigsten Punkte in der ganzen Erörterung. Der neugebildete Stoff geht nicht sofort in die feste Form über. Zuerst bleibt er gelöst, und zwar viel konzentrierter gelöst, wie dies für ihn das Normale ist. Man

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

spricht hier von „übersättigter Lösung". — In einer Gallerte kann sich diese viel besser halten, als in einer Flüssigkeit.

Geht bei dem kontinuierlichen Eindringen des Silbernitrats in die Gallerte die Bildung des Silberchromats immer weiter, so ist in einem gewissen Moment zuviel da, als daß es noch alles gelöst bleiben könnte. Nun muß also festes Silberchromat entstehen. Und es entsteht auch. Aber genau so, wie an der Wasserleitung plötzlich der ganze Tropfen abreißt, und nicht nur das, was als letztes hinzugekommen war, so scheidet sich auch hier, sobald es überhaupt zu einer Ausscheidung kommt, alles Silberchromat aus, welches übersättigt gelöst war. Dies erfolgt ziemlich rasch; dann hört es auf. Denn es ist ja zunächst keine übersättigte Lösung von Silberchromat mehr da. Es muß sich erst wieder neues bilden.

Hier ist also das Diskontinuierliche. Wie sich daraus ein Rhythmus entwickeln kann, das soll an einigen schematischen Zeichnungen illustriert werden.

Es war also (Fig. 1) Silberlösung über die Gallerte geschichtet, welche Chromatlösung enthält (a). Das Silber dringt nach unten und bildet Silberchromat, das aber vorläufig gelöst bleibt (b). Die Konzentration des Silberchromats wird allmählich so groß, daß sich etwas festes Silberchromat ausscheiden muß (c). Die Gegenwart dieses festen Silberchromats neben dem übersättigt gelösten veranlaßt (durch Keimwirkung), daß sich sehr rasch das letztere ebenfalls ausscheidet. Und zwar geht dies zu dem zuerst festgewordenen (d). Das ist die Bildung der ersten Lage von festem rotem Silberchromat.

Unter ihr ist eine Zone, in welcher vorher gelöstes Silberchromat war. Jetzt ist sie frei davon. Diese Zone enthält auch kein doppeltchromsaures Kali mehr. Denn es ist ja zur Bildung des Silberchromats verbraucht worden. Das Silbernitrat, welches ununterbrochen von oben nach unten diffundiert, findet also hier nichts mehr, womit es neues niederschlagbildendes geben könnte. Erst unterhalb dieser Zone ist dies möglich. In einer tieferen Region entsteht zuerst wieder (übersättigt) gelöstes Silberchromat (e). Es ist zuweit vom ersten Niederschlag entfernt, als daß dieser mit seiner Keimwirkung einen wesentlichen Einfluß darauf hätte. So kann es also in dieser Region zu einer gesonderten Ausscheidung kommen (f, g). Diese Vorgänge wieder-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

holen sich nun immer wieder (h usw.), d. h. auf Zeiten der „Summation“ (b, e, h) folgen ruckweise Ausscheidungen.

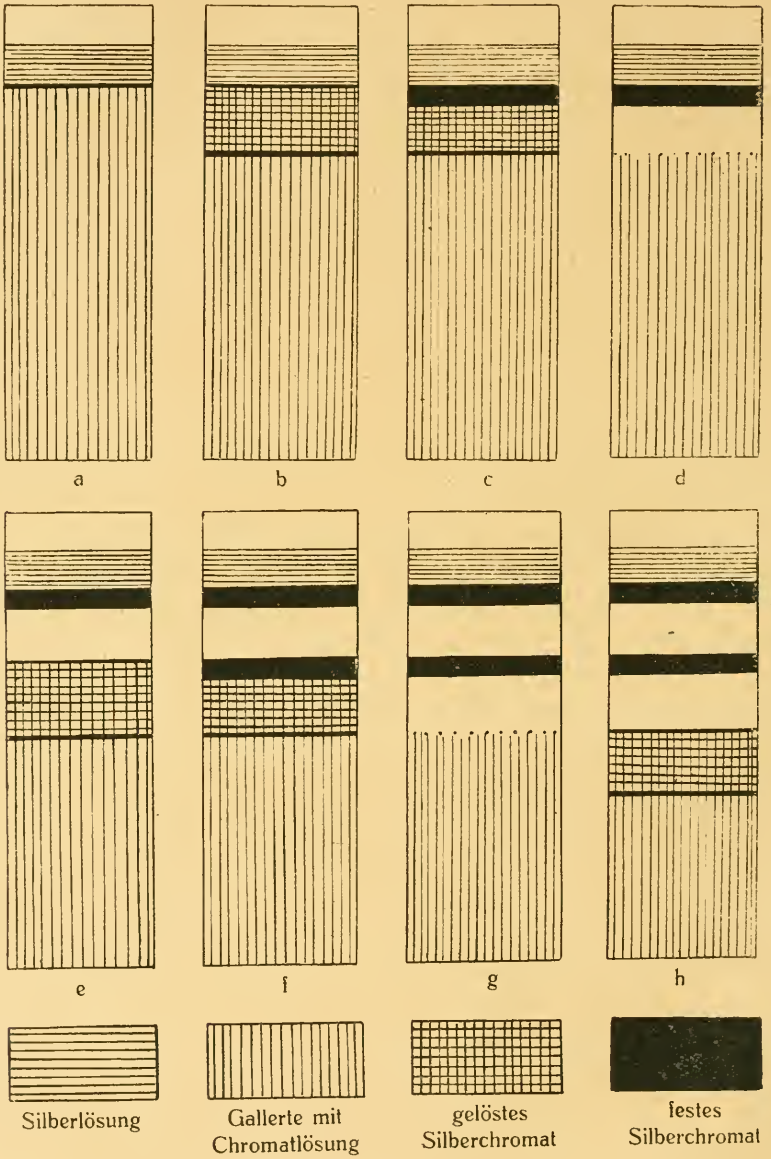

Fig. 1

Auch auf Glasplatten lassen sich derartige Versuche anstellen. Man gießt dabei eine dünne Schicht der mit doppelt-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

chromsaurem Kali versetzten Gelatinelösung auf die Platte, läßt dann an einer Stelle einen Tropfen Silbernitratlösung auffallen. Letzteres dringt im Laufe von Tagen einige cm nach allen Seiten gleichmäßig ein und erzeugt konzentrische Ringe von Silberchromat, wie sie Fig. 2 zeigt. Die Entstehung derselben ist die gleiche wie diejenige der Bänderungen im Reagenzglas.

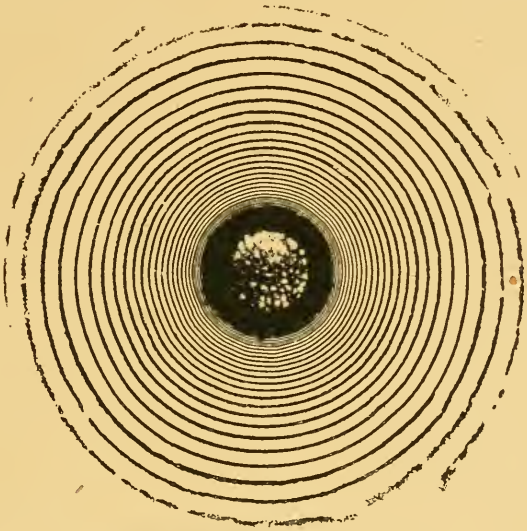

Fig. 2. Silberchromat-Ringe
(Natürliche Größe)

Man kann sich derartige Präparate leicht so bereiten:

5 % Gelatine-Lösung	100	ccm
5 % Lösung doppeltchromsaures Kali . .	2	„
5 % Lösung von Zitronensäure	1	„

Von dieser warmen Lösung kommen 10 ccm auf eine abgewaschene photographische Platte vom Format 9:12 cm. Nach 10 Minuten ist die gleichmäßig ausgebreitete Schicht erstarrt. Auf die Mitte der Platte kommt ein größerer Tropfen einer 25 % Lösung von Silbernitrat. Die Linien entwickeln sich am besten im Dunklen und bei kühler Temperatur. Die Gelatinelösung muß vor der Verwendung 3 oder 4 Tage aufbewahrt werden. Der Säurezusatz bezweckt eine Vermehrung der Löslichkeit des Silberchromats. Bei Erhöhung dieses Zusatzes rücken die Linien weiter auseinander. Ebenso wirkt eine Verminderung des Chromatgehaltes. Man kann also die Frequenz der rhythmischen Fällung leicht beeinflussen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

In ähnlicher Weise kann man auch bei vielen anderen Reaktionen rhythmische Fällungen eintreten lassen. So hat z. B. Hatschek wundervolle Bänderungen von metallischem Gold in Kieselsäure-Gallerte erzeugt. Endell erhielt die konzentrischen Ringe in einer durch Erhitzung weichgemachten Porzellanmasse, Tillmans und Heublein bei der Filtration von manganhaltigem Wasser durch Sand. Letzteres zeigt, daß nicht unbedingt ein gallertiges Medium zur Ausbildung dieser rhythmischen Vorgänge notwendig sein muß. Bei der rhythmischen Fällung des Eisens in Münzenberg hat der Tongehalt des Sandes die Ausbildung jener besonders feinen Bänderungen ermöglicht, welche an Achate erinnern könnte.

Und diese Schmucksteine, die Achate, sind auch chemisch fast genau so zusammengesetzt. Sand ist Kieselsäure: sie ist auch die Grundsubstanz der Achate. Nur die Verteilungsart (Körnigkeit) ist bei beiden verschieden. Auch bei den Achaten ist meist Eisen das natürliche Färbemittel. Es ist in einer Kieselsäure-Gallerte, die einmal eine Vorstufe der jetzt so harten Steine war, rhythmisch gefällt worden. Diese Vorgänge vollzogen sich meist in Hohlräumen eines basaltartigen Gesteines: des Melaphyrs. Die Diffusion erfolgte dabei nicht von einem Punkte aus, wie bei dem beschriebenen Plattenversuch, sondern von der Peripherie nach innen. (Also zentripetal, nicht zentrifugal). Durch entsprechende Abänderung der Versuchsanordnung kann man nicht allein mit Silberchromat und Gelatine, sondern auch mit Eisensalzen und Kieselsäuregallerte die Achatstrukturen nachahmen. Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, daß mancherlei doch noch verschieden ist. So zeigen bei den künstlichen Diffusionsversuchen die Bänderungen eine Neigung zur Abrundung der Ecken, während bei manchen Achaten scharfe Winkel ausgebildet sind. Zum Teil mag das damit zusammenhängen, daß in den Achaten Kristallisationen der Kieselsäuregallerte eintraten, für welche im Laboratoriumsversuch die Zeit nicht ausreicht.

Früher hatte man angenommen, daß immer abwechselnd eisenhaltige (rote) und eisenfreie (farblose) Kieselsäure in den Hohlraum geflossen sei und dort jedesmal eine dünne Schicht als Absatz hinterlassen hätten. Die Diffusionstheorie hat diese Annahme eines äußeren Rhythmus unnötig gemacht.

Um die feinsten Strukturen in einem Nerven (mikroskopisch) sichtbar zu machen, hat man ihn mit doppeltchromsauren Kali

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gehärtet und dann mit Silbernitrat gefärbt. Dabei entstanden feine Schichtungen (Fromm'sche Linien) von denen man früher annahm, daß sie vorher vorhanden gewesen und nur gefärbt worden wären. Nach Auffindung der Silberchromatbänderungen in Gelatine mußte der Verdacht auftreten, daß die von Golgi angegebene Färbungsmethode Kunstprodukte liefern könne. Das hat sich denn auch bestätigt: das Färbemittel hat erst diese Struktur neu erzeugt.

Noch manche andere Strukturen in der unbelebten und belebten Natur haben auf den ersten Blick manche Ähnlichkeiten mit denjenigen, welche durch Diffusionsvorgänge zustande kommen. Man muß sich aber hüten, daraus gleich Schlüsse auf einen genetischen Zusammenhang zu ziehen. Bei den Jahresringen der Bäume wurde die Mitwirkung eines „inneren Rhythmus" (neben dem äußeren) wahrscheinlich gemacht. Zweifellos spielen auch Diffusionsvorgänge bei der Holzbildung eine wesentliche Rolle. Aber damit brauchen die Jahresringe durchaus noch keine Diffusionsringe zu sein. Von den manchen Möglichkeiten eines rhythmischen Ablaufs sollte hier nur eine als Beispiel hingestellt werden.

Hendrik Enno Boeke

* 12. September 1881, † 6. Dezember 1918.

> „Die Vernunft muß mit ihren Prinzipien, nach denen allein übereinstimmende Erscheinungen für Gesetze gelten können, in einer Hand, und mit dem Experiment, das sie nach jenen ausdachte, in der anderen, an die Natur gehen, zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, der sich alles vorsagen läßt, was der Lehrer will, sondern in der eines bestallten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt."
>
> Immanuel Kant.

Wenn wir den wissenschaftlichen Entwicklungsgang eines der Besten unserer forschenden Wissenschaft verstehen wollen, so erscheint es uns notwendig, vor allem die Methode seiner Forschung zu ergründen. So ist es auch bei rückblickender Betrachtung des Lebenslaufes eines so hervorragenden Natur-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Bericht über die Senckenbergische naturforschende Gesellschaft

Jahr/Year: 1921

Band/Volume: 1921

Autor(en)/Author(s): Liesegang [Liesgang] Raphael Eduard

Artikel/Article: Rhythmenbildung in der Natur 59-67