

der Trübe entstehen, hinzuweisen, und die unterschiedliche Art der Beteiligung der Materie zu untersuchen. Zum anderen wollte ich den wohlgeordneten ideellen Zusammenhang herausarbeiten, der sich dabei ergibt, und der eine allgemeine, das Ideelle stärker berücksichtigende Auffassung des Begriffs Urphänomen nahelegt.

Was die Methode betrifft, möge man mir die Anlehnung an Ergebnisse der theoretischen Physik verzeihen. Der wesentliche Inhalt meines Aufsatzes ließe sich auch ohne diese an einer Phänomenologie der Farbentstehung entwickeln, was meines Erachtens auch herauszulesen ist. Ich wollte aber auch zeigen, wie sich in den physikalischen Theorien immer noch ein Abdruck der goetheanistisch erarbeiteten Ordnung zeigt. Hinzu kommt, daß Abhängigkeiten, die die Physik mathematisch beschreibt, ja durchaus auch im Experiment vorliegen. – Das Bemerkens solcher Zusammenhänge mit dem Hinweis auf das Zitat in «Mein Lebensgang» abzutun, erscheint mir als eine unnötige Erkenntnisbeschränkung.

*Johannes Kühl*

– BUCHBESPRECHUNG –

Zeitkristalle und Singularitäten

*Neue Einsichten in die Natur biologischer Rhythmen?*

Es ist zu begrüßen, wenn allgemeinverständliche Darstellungen über biologische Rhythmen erscheinen, denn noch besteht zu wenig Bewußtsein von der rhythmischen Natur aller Lebensabläufe. Daher verdient das kürzlich erschienene Buch «Biologische Uhren: Zeitstrukturen des Lebendigen» des amerikanischen Biologen Arthur T. Winfree unsere wohlwollende Aufmerksamkeit. Der Titel ist vielversprechend, und schon auf dem Umschlagsbild ist zu sehen, was das Buch im positiven Sinne auszeichnet: die durchgehend farbige Illustration, der die glückliche Idee zugrundelag, zur anschaulichen Darstellung zyklischer Zeitverläufe den Goetheschen Farbenkreis zu nutzen. Allerdings verspricht der deutsche Titel eindeutig zu viel: Getreu dem amerikanischen Originaltitel «The Timing of Biological Clocks» handelt das Buch fast nur von der Manipulierbarkeit biologischer Rhythmen und den dabei auftretenden Gesetzmäßigkeiten. Diese scheinen jedoch durchaus bemerkenswert zu sein.

Gegenstand der biologischen Rhythmusforschung sind nur die sogenannten endogenen Rhythmen, die nicht von äußeren Rhythmen wie etwa dem Wechsel von Tag und Nacht abhängen, sondern auch in einer völlig gleichförmigen Umgebung bestehen bleiben, beispielsweise in ständiger Finsternis. Dazu gehört auch der Tagesrhythmus des menschlichen Organismus, der uns nach Interkontinentalflügen noch tagelang zur

gewohnten, jetzt aber unpassenden Zeit müde werden läßt. Nicht nur nach solchen Flügen ist eine Neueinstellung dieses Rhythmus notwendig: Er muß sich jederzeit flexibel an den äußeren Tagesrhythmus angleichen, sonst würde auch ein noch so geringer Unterschied in der Periodenlänge sich zu einer immer größeren Verschiebung summieren. Wie diese Angleichung geschieht, darüber sollen z.B. Versuche mit in ständiger Finsternis gehaltenen Tieren Aufschluß geben, die in verschiedenen Phasen ihres endogenen Tagesrhythmus Lichtreizen von bestimmter Stärke und Dauer ausgesetzt werden. Durch solche Reize wird der Rhythmus auf eine andere Phase eingestellt, z.B. von «kurz vor Mitternacht» auf «Abenddämmerung». Trägt man nun in einem Diagramm die jeweils neu eingestellte Phase über der alten Phase ein, so erhält man eine sogenannte Einstellungskurve. Die Gestalt dieser Kurve hängt von der Stärke des Reizes ab: Kurze, schwache Lichtblitze bewirken nur eine geringfügige Verschiebung des Rhythmus, während er durch starke Belichtung völlig neu eingestellt werden kann. Nur in einem dreidimensionalen Diagramm kann auch diese Abhängigkeit mit dargestellt werden. Solche Diagramme nennt Winfree «Zeitkristalle», denn wenn man die beiden Zeitachsen über mehrere Zyklen sich erstrecken läßt und idealisierend einen völlig gleichförmigen Verlauf der Rhythmen annimmt (der in der Natur nie gegeben ist), erhält man ein dreidimensionales Gebilde von kristallartiger Regelmäßigkeit. (Es dürfte deutlich sein, daß die Kristallartigkeit solcher Gebilde lediglich die Folge vereinfachender Annahmen ist und nichts mit dem Wesen biologischer Rhythmen zu tun hat.)

Solche Zeitkristalle und andere hochabstrakte Darstellungen von Versuchsergebnissen, von denen ein einziger «Kristall» weit über tausend zusammenfaßt, sind nun Winfree's eigentliches Thema. Im Hinblick auf eine Manipulation biologischer Rhythmen können solche Darstellungen durchaus nützlich sein, kann man doch an ihnen sofort ablesen, wann welcher Reiz zu applizieren ist, um einen Organismus in die gewünschte «Zeit» zu schicken. So sollte es auch möglich werden, sich vor einem Flug nach Japan bereits auf die dortige Ortszeit einstellen zu lassen, sobald der Zeitkristall des menschlichen Tagesrhythmus bekannt ist. Ein möglicher praktischer Nutzen ist also unbestreitbar. Können die Zeitkristalle aber auch etwas zum Verständnis biologischer Rhythmen beitragen?

Eine überraschende Feststellung ist zunächst, daß die Zeitkristalle der verschiedensten Rhythmen offenbar sehr einheitlich gestaltet sind: In jeder «Elementarzelle» des Kristalls windet sich eine «Einstellfläche» wendeltreppenartig um eine Achse. Das hängt damit zusammen, daß die Einstellkurven, aus denen diese Fläche zusammengesetzt ist, bei starken und schwachen Reizen grundsätzlich verschieden sind: Da schwache Reize nur eine geringe Wirkung haben, ist die Kurve bei ihnen näherungsweise eine Diagonale, während starke Reize eine insgesamt waagrecht verlaufende Kurve ergeben (bei senkrechter Auftragung der neuen Phase), weil bei ihnen die neu eingestellte Phase immer etwa die gleiche ist, weitgehend unabhängig von der alten Phase. Zwischen beiden Kurvenformen ist kein fließender Übergang möglich, daher muß bei einer bestimmten, «kritischen» Reizstärke eine Kurve mit einem Sprung, einer Diskontinuität, bestehen. Diese Diskontinuität bildet die Achse, um die die Wendeltreppe herumläuft.

Daß eine solche Diskontinuität notwendig besteht, ist die zweite Überraschung. Dies bedeutet nämlich, daß ein Reiz der kritischen Stärke, zu einem bestimmten Zeitpunkt