

# Das Verfahren der Biokristallisation und das Konzept der Selbstorganisation

*Nicolaas Busscher, Johannes Kahl, Jens-Otto Andersen, Machtheld Huber,  
Gaby Mergardt, Angelika Ploeger*

## *Zusammenfassung*

Die Grundfrage bei der Untersuchung der Biokristallisation lautet: Was zeigt sie mehr als eine Kombination von analytischen Methoden? Die Beschreibung der Formbildung und Entstehung lebendiger Systeme wird heute mit dem Konzept der Selbstorganisation versucht. Bei diesem Konzept sind wesentliche Punkte, dass sich – verursacht durch eine Instabilität in einem offenen System – auf der makroskopischen Ebene Strukturen ausbilden. Wegen der Instabilität hängt die Form der Strukturen nicht mehr alleine von den mikroskopischen Eigenschaften der beteiligten Moleküle ab. Als Phänomen der Emergenz zeigen die entstehenden Strukturen Qualitäten, die sich nicht aus den analytischen Messungen der mikroskopischen Eigenschaften allein ableiten lassen. Wenn sich zeigen ließe, dass die Biokristallisation ihre Strukturen als Ergebnis eines Selbstorganisationsprozesses erzeugt, so wäre es ein Bestimmungsverfahren, das vom Prinzip her nach dem heutigen wissenschaftlichen Verständnis zwischen anorganischen Stoffen (z. B. einem Kristall) und einem einfachen „lebenden“ System anzusiedeln ist. Das Verfahren wäre dann in der Lage, den Selbstorganisationszustand eines lebendigen Systems in einer anderen Form abzubilden. In dieser Arbeit wird eine solche Möglichkeit untersucht.

Nach einer Erläuterung des Konzepts der Selbstorganisation wird anschließend der Prozess der Biokristallisation beschrieben. Die gemeinsamen Eigenschaften werden herausgearbeitet, in einer Tabelle zusammengeführt und bewertet.

## *Summary*

A fundamental question in research on sensitive crystallisation is: what does it show more than would be shown by a combination of analytical methods? People nowadays try to describe the development of form and the emergence of living systems with the idea of self-organisation. According to this, there are fundamental points that, triggered by instability in an open system, form structures at the macroscopic level. Because of the instability, the form of the structures no longer depends only on the microscopic properties of the molecules involved. As a phenomenon of emergence, the structures coming into existence show qualities that are no longer derivable solely from analytical measurements of microscopic properties. If it is to be demonstrated that sensitive crystallisation produces its structures as a result of self-organisation, then it would involve a process of investigation which, according to current scientific understanding, would in principle belong between inorganic substance (for example, a crystal) and a simple 'living' system. The process would then be in the position to develop the self-organisation condition of a living system in another form. This possibility is examined in the work reported here. After discussing the idea of self-organisation, the process of sensitive crystallisation is described. Then their common properties are determined, tabulated and appraised.

## Das Konzept der Selbstorganisation

Das Konzept der Selbstorganisation wird im 20. Jahrhundert zuerst von *Prigogine/Stengers* (1990) und *Haken* (1983) formuliert. Eine gute Übersicht über das Thema liefert *Heuser-Keßler* (1986), die versucht, die Entstehung des Begriffs auf Schelling zurückzuführen. Die Phänomene wurden von *Bénard* (1990) untersucht, dem beim Erhitzen von Öl (Walfisch Tran) die dabei entstehende sechseckige Formbildung auffiel. Eine erste theoretische Beschreibung wurde von *Rayleigh* (1916) erarbeitet und die Formbildung mit dem thermischen Auftrieb in Verbindung gebracht. Die Vervollständigung der Beschreibung lieferte *Pearson* (1958), als er die Oberflächenspannung (den sog. Marangoni-Effekt) mit in die Betrachtung einbezog. Im Folgenden wird anhand des Bénard-Marangoni-Phänomens das Konzept der Selbstorganisation beschrieben.

Bénard beobachtete beim Erhitzen von Öl in einer Pfanne, dass sich nach einer gewissen Zeit in der Flüssigkeit schlagartig u. a. sechseckige Strukturen mit 0,5 bis 1 Zentimeter Kantenlänge bildeten, die beim Abkühlen wieder verschwanden.

Bei weiteren Untersuchungen fand er heraus, dass bei einer bestimmten Höhe des Temperaturgradienten vom Boden zur Oberfläche die „Strukturbildung“ begann. Bei genauerer Betrachtung bemerkte er, wie der Wärmetransport von Konduktion nach Konvektion umschlug. In den einzelnen Zellen strömte die Flüssigkeit in der Mitte der Zellen vom Boden zur Oberfläche und an den „Wänden“ wieder herunter (siehe Abb. 1). Die Anzahl und Größe der Zellen, die sog. Moden, sowie die Übergänge zwischen verschiedenen Moden hängen von verschiedensten Parametern ab (*Colinet et. al.* 2001, *Jaeger* 1996).

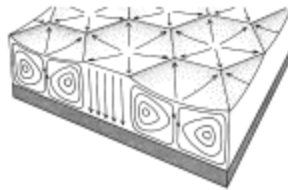


Abb. 1: Strömungsformen in der Bénard-Zelle (aus M. G. Velarde, C. Normand, Scientific American, July 1980 mit Zustimmung von M. G. Velarde)

Was geschieht genau beim Erreichen des kritischen Gradienten in der Ölschicht? Vor dem Erreichen des kritischen Punkts wird die Wärme durch Wärmeleitung (Konduktion) übertragen. Die Moleküle geben die Wärme durch Brownsche Bewegung an ihre Nachbarn weiter. Die Temperatur am „Boden“ ist höher als an der „Oberfläche“, wodurch eine Situation entsteht, die beim