

Dem Problemkreis der Gestaltbildung (Morphogenese) kommt in der Biologie derzeit eine eigentümliche Stellung zu. Die genetischen Grundlagen und deren Beeinflussung, auch durch Umweltfaktoren, werden von der Genetik und Molekularbiologie her intensiv erforscht. Dabei beschränkt man sich aber auf vergleichsweise einfach organisierte Lebewesen und die Entstehung des Grundbauplans der Taufliege (*Drosophila*), der als ein relativ übersichtliches hierarchisches System von Pneus und gekammerten Pneus aufgefaßt werden kann. Komplizierte Gestalten werden bis heute in der Regel nur von der Morphologie und Anatomie ausgehend beschrieben, und man sieht ihre Entstehung als zu komplex für eine genaue Analyse an, insbesondere da eine geschlossene molekularbiologische Hypothese zur Epigenese noch fehlt (vgl. HOLLIDAY, 1988).

Die Einzelheiten der Bildung komplexer Gestalten von Lebewesen können nicht vollständig genetisch fixiert sein, da hierzu die Zahl der Gene der Organismen kaum ausreichen würde. Es muß also Vorgänge der Gestaltbildung geben, die aufgrund weniger genetischer Festlegungen (*Randbedingungen*) unter Selbstorganisation ablaufen; sie sind 'system-immanente Eigenschaften' (HELMCKE). Ein besonderes schönes Beispiel dafür liefern die Radiolarien, die schon HAECKEL der ästhetisch ansprechenden Skelettformen wegen sehr schätzte. Als Einzeller gehören sie trotz den zum Teil sehr komplizierten Skeletten biologisch zu den einfachen Lebewesen. Die Gestaltbildung des Skeletts muß in der einen (biologischen) Zelle erfolgen. Von der zellbiologischen Seite her ist der Aufbau des Skelettes in seinen Grundzügen geklärt (ANDERSON, 1983); die Entstehung der Gestalten aber bisher nicht verstanden. Als strukturgebende Elemente kann man in der Zelle Fasern und Fasernetze (des Cytoskeletts) und Bläschenstrukturen (Pneus) in Form von Vakuolen verschiedener Größe im peripheren Plasma identifizieren. Das Skelett besteht aus amorpher Kieselsäure; seine Bildung ist also keineswegs ein Prozeß der Kristallbildung, als Selbstorganisationsprozeß sicher aber ein physikalisch-chemischer Vorgang. Die Abscheidung der Kieselsäure geht von einer cytoplasmatischen Matrix aus, deren Membrankomponente als Cytokalymma bezeichnet wird.

At present the problem of morphogenesis enjoys a peculiar position in biology. The genetic principles and the way they are affected not least by environmental factors, are being intensively researched by genetic and molecular biology. This research is limited, however, to comparatively simple organisms and in particular to the genesis of the structural plan of the fruit-fly (*Drosophila*) which can be regarded as a relatively well-ordered hierarchical system of pneumatics and compartmentalised pneumatics. So far complicated forms have normally been described only from the standpoint of morphology and anatomy, and their formation is being regarded as too complex to allow an accurate analysis, especially because a comprehensive molecular-biological theory of epigenesis does not exist (cf. HOLLIDAY, 1988).

The details of the generation of complex shapes of organisms cannot be entirely genetically pre-determined since the number of genes present in the organism would be scarcely adequate. This means that there must be form-generating processes which, governed by a few genetic definitions or codes, run their course autonomously; they are 'properties immanent in the system' (HELMCKE). A particularly beautiful example of this are the radiolaria which were HAECKEL's favourites because of their aesthetically attractive skeleton forms. As single-cell organisms they belong biologically to the simple organisms in spite of their occasionally highly complicated skeletons. The morphogenesis of the skeleton must take place in the one (biological) cell. As far as the cytobiological side is concerned, the basics of skeleton formation have been explained (ANDERSON 1983); the generation of the forms has, however, hitherto not been understood. Within the cell fibres and fibre nets (of the cytoskeleton) and bubble structures (pneumatics) in the form of vacuoles of different sizes in the peripheral plasma, can be identified as the elements which impart the structure. The skeleton consists of amorphous silicic acid. Its generation is therefore not a process of crystallisation but -because of the process of self-organisation- certainly a physical/chemical process. The silicic acid is secreted from a cytoplasmatic matrix whose membrane component is called cytokalymma.

Der Architekt und Ingenieur mit Kenntnissen der Bildungs- und Strukturgesetze entsprechender Bauelemente sollte Aussagen machen können über mögliche Vorgänge des Aufbaus des Radiolarien-Skeletts. Den Architekten interessieren naturgemäß fernerhin die konstruktiven Aufgaben und Eigenschaften einzelner Strukturelemente. Für den Biologen mag ein solcher Ansatz zur Erklärung von Gestaltbildung zunächst überraschend sein. Jedoch wird auf diesem Weg in einem vernachlässigten Bereich der Biologie eine experimentelle Methode (Herstellung von Analogmodellen) eingeführt. Analogmodelle liefern zwar keine zureichende biologische Erklärung, aber wenn sie aufzeigen, daß und wie Gestalten durch Selbstorganisation entstehen können, so wird damit nachgewiesen, daß solche Gestalten keiner genetischen Festlegung im Detail bedürfen. Aus Gründen der im biologischen Bereich in der Regel zu beobachtenden Minimalisierung des Aufwandes dürfte Selbstorganisation auch tatsächlich wirksam werden, wo sie möglich ist.

Die Verfügbarkeit einer sehr großen Zahl von EM-Aufnahmen, insbesondere auch Stereobildpaaren von J.-G. HELMCKE, deren Analyse durch HELMCKE und BACH und die Durchführung von Versuchen zur Erstellung der Analogmodelle (BACH: Zur Methodik des 'umgekehrten Weges' vgl.S.157 f.) waren die Voraussetzungen für die hier vorgelegte Darstellung der Radiolarien-Architektur. Biologen mögen manche der Übertragungen für zu spekulativ halten; aber Schritte in Neuland sind anfänglich oft Spekulationen. Aufgrund der Ergebnisse von BACH scheint es nicht unwahrscheinlich, daß die große Artenfülle der Radiolarien - definiert aufgrund der Skelette - teilweise vorgetäuscht ist: Varianten der Selbstorganisation, z.B. durch geringe Umweltveränderungen verursacht, führen zu Abweichungen im Bau, die dann als Artmerkmale angesehen werden. Hier könnte sich für Meeresbiologen ein ganzes Forschungsfeld öffnen (vgl. ANDERSON, 1988).

ANDERSON, O.R. (1983): Radiolaria. Springer, Berlin, 225p.
ANDERSON, O.R. (1988): Comparative Protozoology Springer, Berlin, 482 p.
HOLLIDAY, R. (1988): Successes and limitations of Molecular Biology. J.theor.Biol.132, 253-262.

The architect and engineer who has an understanding of the laws of formation and structure of such constructional elements, should be able to explain the possible processes of generation of radiolarian skeletons. To the architect the structural tasks and properties of individual structural elements are of interest as well. To a biologist it may at first seem surprising that an explanation of the morphogenesis can start from such a basis. It should, however, be acknowledged that in this way an experimental method (in the form of analogue models) is introduced into a hitherto neglected area of biology. Analogous models may not provide an adequate biological explanation; if, however, they show that forms can be generated by self-organisation and in what way, such analogous models can prove that the forms in question do not require any detailed genetic definition. Because of the minimisation of energy expenditure which can normally be observed in biology, self-organisation will probably become effective wherever it is possible.

A pre-condition for this treatise on radiolarian architecture was the availability of a very large number of electron-microscopic photographs, in particular the stereoscopic photographs by J.-G. HELMCKE and their analysis by HELMCKE and BACH and the experiments carried out to produce analogous models (BACH: the 'Reversed course Method' cf. page 157 ff). Biologists may regard some of the transpositions from one research discipline to the other as purely speculative; it should be noted, however, that unexplored territory is often discovered on the basis of initial speculations. The results provided by BACH make it appear not improbable that the large number of radiolaria species - defined on the basis of their skeletons - is in part not real: variants of self-organisation which are, for instance, the result of slight environmental changes, cause changes in the structure which are then regarded as the characteristics of a different species. In this area an entire new field of research could be opened up for marine biologists (cf. ANDERSON 1988).

ANDERSON, O.R. (1983): Radiolaria. Springer, Berlin, 225p.
ANDERSON, O.R. (1988): Comparative Protozoology Springer, Berlin, 482 p.
HOLLIDAY, R. (1988): Successes and limitations of Molecular Biology. J.theor.Biol.132, 253-262