

Selbstorganisation der Materie und Kreativität

1. Was ist Materie?

Materie fristet im Vergleich zu den sogenannten geistigen Wirklichkeiten ein Schattendasein im kollektiven Bewußtsein unserer intellektuellen Welt. Natürlich nur dann, wenn es nicht um Gold oder Edelsteine geht. In unseren Köpfen klafft zwischen Materie und Geist bisweilen immer noch ein unüberbrückbarer Abgrund. Der Vorwurf gegen die Naturwissenschaft, sie sei „definitionsgemäss“ materialistisch und reduziere Geistiges in unzulässiger Weise auf materiell-physikalische Phänomene, ist schnell bei der Hand. Dabei genügte ein Blick in unseren Alltag mit all den Wunderwerken neuzeitlicher Technik, dem materiellen Zauber von Flugzeugen, Automobilen, Haushaltsgeräten, Mobiltelefonen und schlaun Computern, um staunend zu erleben, was gestaltete Materie so alles kann.

Das Staunen gilt allerdings meist sehr einseitig der Kreativität des Ingenieurs und weniger der Materie selbst, die doch eigentlich die Trägerin all der wunderbaren Eigenschaften und geheimnisvollen Voraussetzungen ist, ohne die intelligente Entwürfe und kreative Konstruktionen der Techniker gar nicht möglich wären. Ist es wirklich so, dass nur Menschen, Wissenschaftler und Künstler kreativ sein können und Materie dabei eine unwesentliche Rolle spielt?

Das Gedankengebäude der Physik beschreibt in seinen grossen theoretischen Teilbereichen der klassischen Mechanik, der Elektrodynamik, Quantenmechanik, Relativitätstheorie und der Thermodynamik diese ungemein vielfältigen Eigenschaften und Fähigkeiten der Materie. Es sind Beschreibungen und keine Erklärungen, wie manche meinen, denn physikalische Theorien erklären nicht, warum gerade Erhaltungssätze in der Physik gültig sind, nach denen Materie und Energie nicht einfach plötzlich verschwinden können. Oder warum die vier Wechselwirkungskräfte der Materie gerade so strukturiert sind und nicht anders. Mit philosophischen Hinterfragungen, was Gravitation oder Elektronen nun „wirklich“ seien, stoßen symbolische Beschreibungen an natürliche Grenzen des Erkennens. Selbst experimentelle Befragungen geben keine letzte Antwort, da wir uns nicht in Elektronen verwandeln und nur in gegenseitiger Wechselwirkung etwas über sie erfahren können. Naturwissenschaft beschreibt diese Wechselwirkungen symbolisch, so

wie eine Landkarte die wirkliche Landschaft beschreibt und mit Symbolen abbildet. Ebenso wie Landkarten die Orientierung in der Landschaft erleichtern, vermitteln physikalische Theorien einen Überblick über das Gefüge der Wirklichkeit. Dieses Gefüge ist so voller unerwarteter Wunder, dass es in uns mitunter die Illusion erzeugt, Wissenschaft „erkläre“ auch die ihm zu Grunde liegenden axiomatischen Voraussetzungen.

Selbst wenn Warum-Fragen des axiomatischen Verstehens für immer unbeantwortet bleiben sollten, sind die Erforschung und bewußte Produktion von Wissen bereits ein unermessliches Geschenk voller Wunder. Wer wird schon auf einen erfrischenden Schluck kühlen Wassers verzichten wollen, nur weil das „eigentliche“ Wesen von Wassermolekülen nicht geklärt ist und „letzte“ philosophische Fragen, die doch im Grunde einer Falle gleichen, wahrscheinlich ein unbeantwortbares Geheimnis bleiben werden? Die Welt geht ohne das Wissen um die Herkunft der Axiome nicht unter, eher dann, wenn man auf Wissen verzichtet und das schöpferische Spiel der Axiome nicht erforscht. Die an die Materie gerichtete Fragen „was und warum bist du eigentlich“? – sind keineswegs die wesentlichen, denn erst die Fragen „was kannst du und machst du“ ? öffnen uns die Wirklichkeit und machen deren Fülle erlebbar.

2. Am Anfang war Materie und Energie

Als erste im Verlauf der Kulturgeschichte vermuteten die Vorsokratiker in der Antike, dass Materie mehr kann als ihr bis dahin zugetraut wurde. Abseits des Götterhimmels und mythischer Schöpfungsvorstellungen lehrte Empedokles im fünften vorchristlichen Jahrhundert, dass das Bleibende, das Sein, die Materie darstelle und dass das Werden aus der bewegenden Kraft auf die Materie entstehe. Materie trete in vier Grundstoffen als Erde, Wasser, Luft und Feuer auf, aus deren Kombination alles Wirkliche entstehe. Demokrit zerlegte die Materie weiter und postulierte Atome als die unteilbaren Ur-Teilchen, die Eigenschaften wie Farbe oder Geschmack nicht selbst tragen, sondern erst im Zusammenspiel miteinander aufbauen.

Welch kühne Hypothesen dieser Denker, die Materie – in Form der drei beobachteten Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig – zusammen mit der Energie des Feuers zum Ursprung des Kosmos zu machen und auf das Walten von launischen Göttern zu verzichten! Zu einer Zeit, als das vorhandene Wissen zu spärlich war, um derart spekulative Entwürfe handfest begründen zu können. In der Folge wollten die Menschen allerdings auf lieb gewonnene

spekulative Götter im kulturellen Denkwettbewerb nicht verzichten. Über Jahrtausende dominierte daher mit unterschiedlichem Gewicht eine dualistische Weltansicht, nach der eine geistig-immaterielle Substanz – oder gar Macht – das eigentliche Geschehen in der Welt steuert. Es stellt sich nun die spannende Frage: Können wir mit unserem heutigen Wissen überzeugend behaupten, dass biologisches Leben oder gar geistige Strukturen bloss Produkte aus Materie und Energie sind, ohne einen Rückgriff auf „geistige“ Kräfte oder gar geheimnisvolle Götter, von denen wir so gut wie nichts wissen?

3. Selbstorganisation der Materie in der Physik

Selbstorganisation ist ein eher neuer wissenschaftlicher Begriff, der in seiner einfachsten Form sehr schön am Bénard-Experiment definierbar ist. Dazu erwärmt man in einem Gefäß langsam eine Flüssigkeitsschicht, so dass ein Temperaturgefälle entsteht und Wärmeleitung von unten nach oben einsetzt. Anfangs ist der Temperaturgradient noch klein, sodass die Moleküle in den unteren Schichten ihre erhöhte kinetische Energie allmählich durch Stöße an die Moleküle der kälteren oberen Schichten abgeben. Das wilde Treiben der mit unterschiedlicher Energie und ohne Ziel chaotisch gegeneinander stossenden Moleküle wird durch ihre elektromagnetischen Wechselwirkungskräfte zusammengehalten. Gravitation, die im Nanobereich als Anziehungskraft zwischen Molekülen vernachlässigbar klein ist, tritt lediglich als Gewicht der homogenen Flüssigkeit in Erscheinung. Vergrößert man langsam die Wärmezufuhr und damit den Temperaturgradienten, so wird es plötzlich richtig aufregend. Ab einem bestimmten Zeitpunkt nämlich reicht die Wärmeleitung durch molekulare Stöße nicht mehr aus und es kommt in der Flüssigkeit zu turbulenten Instabilitäten, die spontan in eine großräumige Ordnung münden, in der die vorher wahllos herumstossenden Moleküle ein kommunikatives Kollektiv ausbilden. Wie von unsichtbarer Hand gesteuert entsteht ein System mit rotierenden Flüssigkeitswalzen, die den Wärmetransport nun viel effektiver bewerkstelligen können, weil er an den großräumigen Stofftransport der rotierenden Walzen gekoppelt ist. Ähnlich steigen in der Atmosphäre bei starker Sonneneinstrahlung Luftmassen säulenförmig auf und ab, weil lokale Dichteunterschieden im Schwerfeld der Erde einen Auftrieb bewirken. Aus dem anfänglichen Chaos ohne jede Struktur emergiert spontan etwas völlig Neues: eine als Kollektiv kommunizierende „intelligente“ Ordnung. Es entsteht der Eindruck, als ob sich die Moleküle strategisch verabredet hätten, ihr System gezielt zu strukturieren.

Das Experiment wurde erstmals ausführlich von *Henri Bénard* im Jahr 1900 in seiner Dissertation beschrieben. Es ist typisch für physikalische Selbstorganisationsprozesse und zeigt sehr klar die beiden erforderlichen Voraussetzungen für Selbstorganisation: Zunächst bedarf es eines Energiegradienten, der einen Energiefluss bewirkt und das System weit vom thermodynamischen Gleichgewicht entfernt. Unter diesen Ungleichgewichtsbedingungen wird ein Teil der Energie für die Herstellung von Ordnung im System verwendet und ein anderer Teil als Entropie – als ungeordnete Wärme – an die Umgebung abgegeben. Zum anderen braucht man natürlich eine Menge an Akteuren, die aber immer in verschwenderischer Fülle vorhanden sind. Man bedenke nur, dass Materie in wenigen Gramm-Mengen etwa eine Billion mal eine Billion Atome enthält. Das ist eine Zahl mit 24 Nullen hinter der Eins. Die Energie, die das System durchströmt, pumpt sozusagen Unordnung in die Umgebung hinaus und lässt dafür eine materielle dynamische Ordnung zurück, sogenannte dissipative Strukturen, die ganz neue und unerwartete kollektive Systemeigenschaften aufweisen. Bemerkenswert ist ausserdem, dass man nicht voraussagen kann, in welchem Uhrzeigersinn die erste Konvektionszelle zu rotieren beginnt: Denn zur Notwendigkeit des Geschehens gesellt sich als Freiheitsgrad immer noch der Zufall in Form der lokalen Turbulenzen.

4. Thermodynamik irreversibler Prozesse

Der Belgier *Ilya Prigogine* bekam 1977 den Chemie-Nobelpreis für die mathematisch-wissenschaftliche Fundierung einer Physik von Nichtgleichgewichtszuständen und irreversiblen Dynamiken. Das Überraschende seiner Erkenntnisse war, dass in der gesamten Wirklichkeit, der unbelebten ebenso wie der biologischen, ein universelles Prinzip der Selbstorganisation wirksam ist, das auch die kulturelle Welt erfasst. Die klassische, deterministisch-reversible Newtonsche Physik, deren Sinnbild unser Sonnensystem mit seinen periodischen Planetenbewegungen ist, hat durch die Dynamik irreversibler Prozesse weit entfernt vom energetischen Gleichgewicht eine unerwartete wissenschaftliche Erweiterung erfahren. Die Allgemeingültigkeit des Prinzips, nach dem notwendigerweise kreative Komplexität spontan entsteht, vermittelt ein neues wissenschaftliches Weltbild, das geeignet ist, interdisziplinäre Schranken zwischen Naturwissenschaft, Biologie und kognitiven Systemen gehörig aufzubrechen.

Am folgenden Beispiel aus der Robotertechnik wird ersichtlich, dass auch makroskopische Materieaggregate unseres Alltags einiges an Überraschun-

gen bereithalten. So entdeckten *R. Der* und *N. Ay*, dass sich aufwendige Programmierungen der Bewegungsabläufe von Robotern sehr stark vereinfachen lassen, wenn man körperliche Eigenschaften, die als „embodied artificial intelligence“ im Körper eines Roboters bereits angelegt sind, zur Steuerung von Gelenkwinkeln bei der Gehbewegung auf einer schiefen Ebene berücksichtigt. Intelligenz ist danach nicht allein ein abstraktes Produkt der programmierten Regelung, sondern tritt überraschenderweise auch als Eigenschaft des räumlichen Arrangements der Körperteile auf. Die erstaunliche „physikalische“ Kreativität der Materie – auf allen Größenskalen der Wirklichkeit – wird jedoch bei Weitem in den Schatten gestellt, wenn man chemische Prozesse der Selbstorganisation betrachtet.

5. Chemische Selbstorganisation

In den Jahren um 1950 beobachtete der russische Chemiker *Boris P. Belousov* an einem chemischen Reaktionsgemisch in homogener Lösung ein Hin- und Herpendeln der Farbe zwischen gelb und farblos. Obwohl Schwingungen in den Naturwissenschaften allgegenwärtig sind, waren chemische Oszillationen bis dahin so gut wie unbekannt. Seine zur Veröffentlichung eingereichten Arbeiten wurden von Fachzeitschrift-Redaktionen abgewiesen, da man eine derartige Chemie für unmöglich und die beschriebenen Ergebnisse für Messfehler hielt. Die klassische Sicht des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik und der Wissensstand der damaligen chemischen Kinetik ließen weder chemische Oszillationen zu noch die von Belousov in der Reaktionslösung beobachteten und beschriebenen Dynamiken von spiralförmigen Mustern und großräumigen Strukturen.

Heute wird die berühmte Reaktion mit dem Namen des russischen Chemikers *Zhabotinsky* ergänzt, der etwa zehn Jahre später die wissenschaftliche Anerkennung dieser oszillierenden und Muster bildenden Reaktion erkämpfte. Die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion ist als chemische Analogie zur Selbstorganisationserscheinung im Bénard-Experiment zu sehen, ausser dass hier die Energiegradienten energiereiche Ausgangskemikalien sind und chemische Katalysatoren die Ausbildung von chemischen Reaktionsnetzwerken mit katalytischen Rückkoppelungen ermöglichen. Dieser chemische Mechanismus lässt räumliche Muster wandernder Spiralen und Kreise entstehen und führt zu periodischen und spektakulären Farbumschlägen – falls die involvierten Chemikalien farbig sind. Auf diese Weise entsteht etwas völlig Neues und eine chemische Uhr erblickt das Licht der Welt, als notwendige Emergenz der rückgekoppelten chemischen Selbstorganisation.

Konrad Lorenz nannte solche emergenten Erscheinungen, die wie Blitze plötzlich da sind, Fulgurationen.

Der chemischen Selbstorganisation steht eine gewaltige Vielfalt chemischer Moleküle von unterschiedlicher Struktur und chemischer Reaktionsfähigkeit zur Verfügung, wobei speziell das Phänomen der chemischen Katalyse, die die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen steuert, eine herausragende Rolle spielt. Der deutsche Physiker *Manfred Eigen*, 1967 mit dem Nobelpreis für Arbeiten zur Messung extrem schneller chemischer Reaktionen ausgezeichnet, hat den Spielplatz der chemischen Selbstorganisation der Materie mit seiner Theorie der Hyperzyklen theoretisch und experimentell bahnbrechend bereichert. Das Prinzip des Hyperzyklus besteht darin, dass sich Moleküle während ihrer chemischen Entstehung durch Katalyse gegenseitig helfen und ein rückgekoppeltes chemisches Netzwerk aufbauen, das bewirkt, dass die beteiligten Moleküle sich gegenüber ihren Konkurrenten schneller vermehren können. In den Arbeiten zusammen mit den österreichischen Forschern *Ruthild Winkler-Oswatitsch* und *Peter Schuster* werden Hypothesen erörtert, wie das kooperative und kommunikative Zusammenspiel der Nukleinsäuren, den späteren Erbmolekülen, mit den für das Leben gleichherrn wichtigen Eiweissmolekülen entstanden sein könnte.

Jean-Marie Lehn, ein französischer Chemiker und seit 1987 Nobelpreisträger, beschäftigt sich mit der Selbstorganisation von in der Natur nicht vorkommenden Molekülen. Er synthetisiert gezielt neue Moleküle einer spezifischen räumlichen Struktur mit geeigneten Wasserstoffbrücken und elektromagnetischen Wechselwirkungskräften und vermischt dann unterschiedliche Molekülarten in einer Flüssigkeit, mit dem faszinierenden Ergebnis, dass die Moleküle einander nach dem Schloss-Schlüssel-Prinzip erkennen und spontan die geplanten Suprastrukturen und molekularen Architekturen ausbilden.

Eine Selbstassemblierung von Molekülen funktioniert natürlich nicht nur dann, wenn man sie im Chemiekolben synthetisch plant. Sie tritt als universelle Eigenschaft überall in der Chemie und insbesondere in der präbiotischen und biologischen Evolution auf. Phospholipide sind ein beliebtes Beispiel für Selbstassemblierungen in der Natur, weil sie die molekularen Bausteine biologischer Membranen sind und in Wasser automatisch membranartige Suprastrukturen ausbilden, die einfach alles umhüllen, was daher kommt. Es ist nicht verwunderlich, dass Membranen aus solch selbstassemblierenden Phospholipiden von der Evolution vor Milliarden Jahren entdeckt wurden und nach wie vor unverzichtbar sind für die Ausbildung der Kom-

partimente des zellulären Lebens von Einzellern und mehrzelligen Organismen bis zum Menschen.

6. Selbstorganisation in der Biologie

Überall dort in der Natur, wo Energie durch ein System hindurchgepumpt wird, kommt es zur Ausbildung von zeitlichen und räumlichen Mustern und zur Entstehung komplexer chemischer Netzwerke mit rückgekoppelten neuen Funktionalstrukturen. Eine beinahe unerschöpfliche Energiequelle stellen die seit Jahrmilliarden auf das offene System Erde treffenden Photonen der Sonne dar. Dass es unter einem so idealen Energiegradienten zu komplexer Selbstorganisation kam und Leben entstand, ist nach den bisherigen Ausführungen nur folgerichtig und im Grunde geradezu notwendig. Vor allem seit der Erfindung der Photosynthese stand der Evolution chemische Energie in Form energiereicher Adenosintriphosphate, den Energiegradienten des Lebens, in Unmengen zur Verfügung. Es entstanden immer komplexere molekulare Suprastrukturen, die dann im weiteren Verlauf der Evolution etwa als Ribosome die Eiweißsynthese durchführten oder als Motoren der intrazellulären Fortbewegung dienten. Die Aufklärung der Struktur und Funktionen solcher zellulärer Organellen war in den letzten Jahrzehnten unerhört erfolgreich. So prämierte man im Jahr 2009 nur folgerichtig die komplette räumliche Erfassung aller Atome eines Ribosoms mit dem Nobelpreis. Mit den modernen Methoden der räumlichen Strukturaufklärung im Mikrokosmos gelingt es immer naturgetreuer, die Bewegungsabfolgen in zellulären Supramolekülen zu erfassen und in Computersimulationen zu visualisieren. Die Fortbewegung von Motormolekülen beispielsweise entlang der Mikrotubuli, den molekularen Strassen der Zelle, erscheint in solchen Simulationen dem Schreiten eines Roboters auf einer schiefen Ebene sehr ähnlich. Ein Bein nach dem anderen pendelt nach vorne und wird im Takt von den abwechselnd sich verstärkenden und abschwächenden elektrischen Wechselwirkungskräften gesteuert, die ihrerseits wiederum auf die im gleichen Rhythmus erfolgende Zufuhr von Energiemolekülen ATP und die Abgabe von energieärmeren Adenosindiphosphaten angewiesen sind. Im Internet sind unter ‚Kinesin Explanation‘ und ‚Kinesin Transport Protein‘ derartige Simulationen zu besichtigen.

Nicht nur die Evolution beruht auf Selbstorganisation und dem intelligenten Potential von Molekülen. Immer häufiger bedienen sich Forschungsrichtungen in der Nanotechnologie des Instruments der Selbstorganisation und der Intelligenz des Mikrokosmos, um Wirklichkeit innovativ auch für unsere

alltägliche Raumskala zu gestalten. *Macdonald* und Mitarbeiter berichten über Versuche, chemische Computer zu bauen, die mit molekularer Logik auf Basis des Erbsubstanzmoleküls DNA ausgestattet sind – nicht als Konkurrenz zu elektronischen Computern, sondern als gezielte Anwendung in der Medizin. Computer auf chemischer Basis kann man sich als molekulare Aggregate vorstellen, die als autonome logische Einheiten im Blut herumswimmen und analog zu elektronischen Logikgattern den Input bestimmter Chemikalien erkennen und im Sinne eines logischen „wenn-dann“-Schlusses chemische Outputsignale produzieren und damit weitere Aktionen auslösen können.

Das Schauspiel der auf molekularer Ebene ablaufenden Lebensvielfalt beginnt sich immer eindringlicher vor unserem Bewußtsein zu entfalten, wengleich die Forschungsergebnisse noch sehr bruchstückhaft und sehr mühsam zu erzielen sind. Angesichts seiner immensen Komplexität stellt das dynamische Geschehen im Mikrokosmos grosse Anforderungen an unser Vorstellungsvermögen. Selbst eingefleischte Naturwissenschaftler sind dabei nicht frei von der Versuchung, bei irrationalen Mächten „Erklärung“ und Zuflucht zu suchen.

7. Die universelle Einheit von Materie und Geist

Eines der Hauptargumente der Evolutionsgegner war immer: Das kann nicht alles Zufall sein! Und in der Tat, hätte die Evolution ihre Moleküle nach dem Zufallsprinzip auswählen müssen, wäre sie angesichts der astronomischen Zahl an Permutationen bereits von Atomen in relativ kleinen Molekülen nicht sehr weit gekommen und stünde noch am Anfang. In Wirklichkeit ist es aber nicht der Zufall allein, der seine Artefakte der Selektion anbietet. Es ist die von den unterschiedlichen Energiegradienten ausgelöste selbstorganisatorische Dynamik von Zufall und Notwendigkeit, die als schöpferische Kraft jene Artefakte und Wirklichkeiten schafft, an denen Selektion und Evolution dann angreifen können.

Selbstorganisation als spontane und universelle Erscheinung fällt sehr unterschiedlich aus, je nachdem mit welchen Akteuren und Wechselwirkungskräften sie spielt, und welche Energiegradienten auf den einzelnen Komplexitätsebenen zum Tragen kommen. Die Akteure sind sehr vielfältig und reichen von Molekülen bis zu hochkomplexen Gehirnen, Individuen und sozialen Gruppen. Das Grundprinzip bleibt auf allen Wirklichkeitsebenen jedoch dasselbe: Auch kulturelle Leistungen in Wissenschaft, Kunst, Musik und

Politik sind Emergenzen der mit Bewußtsein ausgestatteten Akteure, so wie Bewußtsein wiederum und kognitive Fähigkeiten Emergenzen neuronaler Systeme sind. Das emergente Neue ist in den einzelnen Akteuren nicht zu finden. Die übergeordneten Konvektionsstrukturen im Bénard-Experiment spiegeln nicht die Eigenschaften der einzelnen Moleküle. Stets ist Neues auf den entstehenden Komplexitätsebenen kreativ neu und plötzlich präsent, mit der ungeheuren Wucht von Notwendigkeit und Tatsächlichkeit.

Auch Bereiche der Kultur, insbesondere Wirtschaftssysteme und staatliche Strukturen, sind dann besonders erfolgreich, wenn sie auf emergenter Selbstorganisation beruhen und ihre Akteure im freien Wettbewerb der Ideen selbstregulatorisch handeln können. Kein noch so gutes Machtmonopol mit Zwangsmassnahmen oder gar Sklavenwirtschaft wird auf Dauer die selbstregulatorische Freiheitsdynamik mit ihren kreativen Emergenzen übertreffen. Man kann sie selbstverständlich gewaltsam unterdrücken, zum Schaden aller.

Es ist ein seltsamer, aber gleichzeitig berauschender Gedanke, dass Stein und Blume, Körper und Geist einer zusammenhängenden und gegenseitig abhängigen Welt entspringen, in der Wandel und Ordnung, Kreativität und Komplexität, Materie und Geist spielerisch zusammengehören. Die oft beschworene Kälte des naturwissenschaftlichen Weltbildes, in dem die Menschen angeblich verlassen und ziellos am Rande des Universums wandern, weicht zunehmend einem wärmeren und monistischen Paradigma, das dem Bild eines universellen Zusammenwirkens den Vorzug gibt. Der bewußte menschliche Geist hat allen Grund, sich demutsvoll vor den schöpferischen Kräften von Materie und Energie zu verneigen.

8. Literatur

BÉNARD, Henri: <http://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9nard-Experiment>
DER, Ralf/ AY, Nihat (2010): Roboter mit Entdeckerlust. – In: Spektrum der Wissenschaft, Februar 2010, 86-94.

DEMOKRIT & EMPEDOKLES: <http://www.philosophenlexikon.de> und <http://www.latein-pagina.de/iexplorer/turkey/vorsokrat/vorsokrat.htm>

EIGEN, Manfred (1987): Stufen zum Leben. Die Frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie. – R. Piper GmbH & Co. München.

KINESIN EXPLANATION: www.youtube.com/watch?v=686qX5yzksU

KINESIN TRANSPORT PROTEIN: www.youtube.com/watch?v=4TGDPotbJV4

- KREUZER, Franz (1981): Das Leben – ein Spiel. Das Jahrhundert der Molekularbiologie. Franz Kreuzer im Gespräch mit Erwin Chargaff, Günther Kreil, Manfred Eigen, Ruthild Winkler-Oswatitsch und Peter Schuster. – Franz Deuticke Verlagsgesellschaft, Wien, 65-91.
- LEHN, Jean-Marie (2007): Supramolekulare Chemie. Chemische Grundlagenforschung auf neuen Wegen. – Wiener Vorlesungen – Picus.
- LORENZ, Konrad (1973): Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens. – Deutscher Taschenbuchverlag. München.
- MACDONALD, Joanne/ STEFANOVIC, Darko/ STOJANOVIC, Milan N. (2010): DNA-Computer. – Spektrum der Wissenschaft, Februar 2010, 74-82.
- NICOLIS, Grégoire/ PRIGOGINE Ilya (1987): Die Erforschung des Komplexen. – R. Piper GmbH & Co. München.
- PRIGOGINE, Ilya (1979): Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. – R. Piper & Co. München.
- YOUNG, Hugh D./ FREEDMANN, Roger A. (2004): Sears and Zemansky's University Physics, 11th Edition.

* * *

Abstract

Self-organization of matter and creativity

by Dr. Manfred Wechsberg

Self-organization is a dynamic property of matter which arises spontaneously whenever an open system consisting of interacting particles is kept far away from its thermodynamic equilibrium by means of a continuous flow of energy. New dynamic structures automatically originate under these conditions to build up astonishingly creative functional properties and structures of unexpected complexity. Self-organisation appears to be a universal principle in physics, chemistry and biology as the decisive force to structure matter during the evolution of life and to give origin to the emergence of cognitive systems including the associated development of civilizations.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: [2009](#)

Autor(en)/Author(s): Wechsberg Manfred

Artikel/Article: [Selbstorganisation der Materie und Kreativität 17-26](#)