1 Einleitung

Die Frage nach dem Ursprung und dem Ziel des Lebens ist wahrscheinlich so alt wie das Nachdenken des Menschen über sich selbst und leitet sich ganz selbstverständlich aus der Erkenntnis der Endlichkeit des persönlichen Schicksals ab. Das intuitive Begreifen des alltäglichen Werdens und Wachsens in der Natur und der allmählichen Veränderungen am einzelnen Menschen – Wachsen, Altern und Tod – ging dabei der Einsicht in die Veränderlichkeit des Kosmos im Allgemeinen und der biologischen Typen im Speziellen weit voraus.

Die Naturerkenntnis brauchte Renaissance und Aufklärung, um mit den ursprünglich verbreiteten Vorstellungen einer statischen Welt aufzuräumen. Die Astronomie und die mit ihr früher verbundene Astrologie als Scheinwissenschaft vom Einfluss der Bewegung der Wandelsterne auf das menschliche Schicksal machten den Weg für die Erkenntnis der Bewegung der vorher als absoluter Fixpunkt verstandenen Erde in der Himmelsmechanik frei. Kopernikus, Galilei, Newton, Kepler und anderen verdanken wir die Vorstellung von einer Erde, die in ein größeres dynamisches System eingebettet ist, das sich mit physikalischen Gesetzen beschreiben lässt. Erst das 18. Jahrhundert stellte mit der Linné'schen Systematik die Einsicht in die Verwandtschaft der Arten auf eine solide methodische Grundlage, erst das 19. Jahrhundert brachte mit Lamarck, Darwin, Haeckel und Mendel den Durchbruch im naturwissenschaftlichen Begreifen der Entwicklung des Lebens. Die Einsichten der Naturwissenschaften führten so zunächst von der Vorstellung eines einmal und für alle Zeiten fest gefügten Zustandes zu einer in Veränderung befindlichen Welt. Doch während noch Goethe trotz allen entwicklungsorientierten Gedankenguts von der unendlichen Reihe der Generationen in dieser scheinbar offenen Zeitlinie spricht, machte über die Evolutionstheorie hinaus die physikalische und die chemische Thermo-

Vom Urknall zum Cyberspace. Michael Köhler
Copyright © 2009 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
ISBN 978-3-527-32577-1

dynamik mit Clausius deutlich, dass alle spontan ablaufenden Vorgänge einen Richtungssinn haben. Daraus leitete sich die ganz allgemeine Erkenntnis ab, dass – ganz in Übereinstimmung mit den Einsichten in die biologische und die geologische Evolution – auch die Entwicklung über lange Zeiträume einen Richtungssinn besitzt.

Noch fehlte aber der Welt, die nun in ihrem stetigen Wandel begriffen war, ein zeitlicher Rahmen. Der Anfangspunkt im Verständnis des kosmischen Werdens wurde vor dem Hintergrund der theoretischen Grundlagen mehr oder weniger überraschend als Zufallsfund der Astronomie gesetzt. Mit der Interpretation der bei der Beobachtung ferner Galaxien entdeckten Rotverschiebung der Spektrallinien als Ausdruck einer allgemeinen Expansionsbewegung konnte auf eine »Stunde Null« für die Entwicklung des Kosmos als Ganzem zurückextrapoliert werden. Diese Erkenntnis setzte den experimentellen Zugang zur Welt der Bausteine der Materie, den Aufbau der Atome und Moleküle und die Einsicht in die Allgemeingültigkeit der physikalischen und chemischen Gesetze für diese kleinen Teilchen voraus. Aus dem Zusammenfügen der Kenntnisse des Kleinsten, der Atome und Elementarteilchen, mit der modernen Astronomie ergab sich eine Vorstellung vom Kosmos, die seine Entwicklung in ein festes zeitliches Schema brachte. In dieses konnten auch die Beobachtungen zur geologischen und biologischen Entwicklung auf der Erde bis hin zur Menschwerdung eingeordnet werden.

Um den Rahmen der zeitlichen Entwicklung zu komplettieren, bedurfte es schließlich noch der Ableitung der weiteren Entwicklung aus der bisherigen. Aus Sicht der fundamentalen physikalischen Gesetze stellte sich die Alternative eines für alle Zeiten expandierenden oder nach Erreichen einer maximalen Ausdehnung wieder in sich selbst zusammenstürzenden Universums. Seltsamerweise liegt die aus der Himmelsmechanik und theoretischen Überlegungen abgeschätzte Massendichte des Universums so nahe am kritischen Wert, dass in absehbarer Zeit keine Entscheidung über eine der beiden Richtungen für die zu erwartende kosmische Entwicklung – Expansion oder Kontraktion – zu treffen ist. Da schon in dieser sehr grundsätzlichen Frage keine Lösung durch die Physik gegeben werden kann, ist der zeitliche Rahmen unseres Weltmodells in der Richtung, in der wir gehen, viel, viel unsicherer gespannt als in der Richtung, aus der die Welt kommt. Praktisch alle naturwissenschaftlich be-

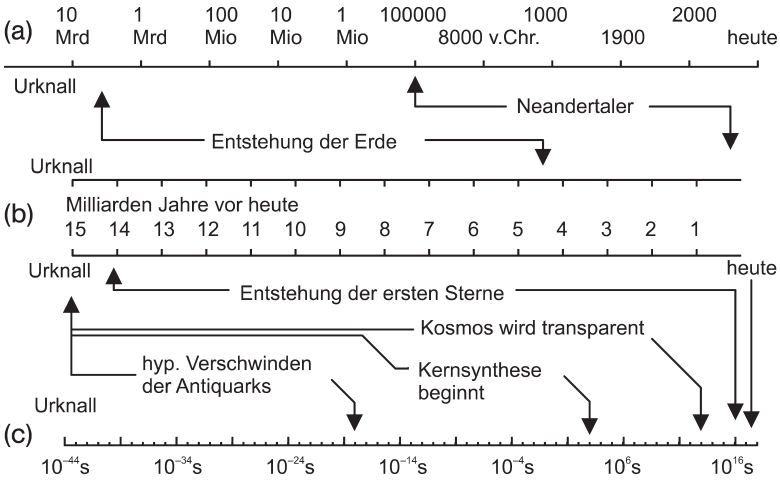

Abb. 1 Der unterschiedliche Blick auf die Zeitskalen im Universum: a) logarithmische Zeitskala (Bezugspunkt: Gegenwart); b) lineare Zeitskala; c) logarithmische Zeitskala (Bezugspunkt: Urknall).

gründeten Abschätzungen gehen aber – im schroffen Gegensatz zu den meisten religiös begründeten Endzeiterwartungen – davon aus, dass die Zukunft der Welt sehr viel länger andauern wird als die Vergangenheit und wir mithin in einem jungen Universum leben. Der Blickwinkel auf die zurückliegende Zeit – die Geschichte des Universums – ist dabei stark von der Wahl der Zeitskala abhängig. Anstelle einer linearen Skala sind wir, wenn wir unserer Intuition folgen, am ehesten geneigt, eine rückwärts gerichtete logarithmische Zeitskala anzulegen. Die kosmologischen Theorien legen statt dessen eine vom Urknall ausgehende logarithmische Skala als Maßstab an die Entwicklung des Universums an (Abb. 1).

Die Entwicklung der Welt ist jedoch nicht nur als eine Veränderung in einem bestimmten zeitlichen Rahmen zu begreifen. Sie ist nicht nur durch einen Wechsel von Formen und Bewegungen gekennzeichnet. Sie wird außerdem durch die ständige Entstehung neuer Strukturen und Funktionen geprägt. Die dabei beteiligten Komponenten einer komplexen Struktur vermitteln zunächst häufig den Eindruck eines Netzwerkes. Tatsächlich ist die Natur in ihrer Komplexität jedoch vielfach in Form einer Struktur mit Rangordnungen, einer Hierarchie, aufgebaut (Abb. 2).

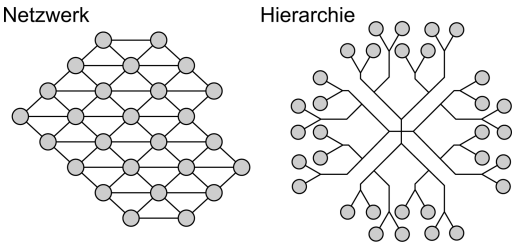

Abb. 2 Grundprinzipien der Systemorganisation: Netzwerk und Hierarchie.

Die unbelebte kosmische Welt mit ihren Gas- und Staubnebeln, Planeten, Sternen und Galaxien (Abb. 3) ist ebenso wie die Welt des irdischen Lebens mit ihren Mikroorganismen, Pflanzen, Tieren und Biozönosen (Abb. 4) hierarchisch organisiert.

Mit Schlussfolgerungen aus der Paläontologie und der Molekularbiologie hat sich – etwa Gould, Vrba und Eldredge folgend – herausgeschält, dass auch die biologische Evolution der hierarchischen Organisation unterworfen ist und auch die Selektion auf allen Ebenen dieser komplexen Strukturen ansetzt. Selbst im Kleinsten wurde das hierarchische Organisationsprinzip wiedergefunden. Zellen lassen

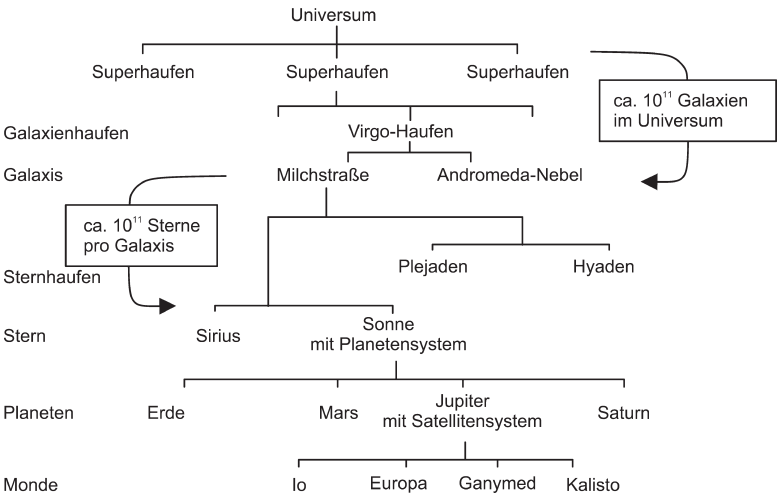

Abb. 3 Strukturhierarchie im Makrokosmos.

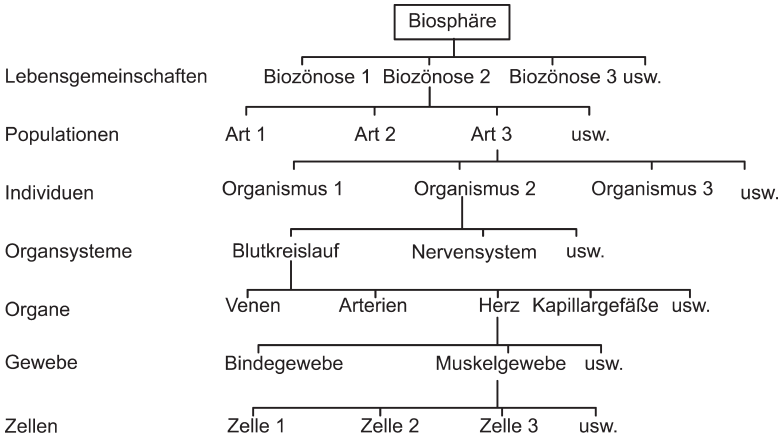

Abb. 4 Hierarchischer Aufbau der Lebewesen und der Biosphäre.

sich auf Moleküle, Moleküle auf Atome und diese auf Elementarteilchen (Abb. 5) zurückführen.

Die Entstehung aller Organisationsstrukturen, mithin der Hierarchien, vollzog sich auf charakteristischen Zeitskalen. Dabei veränderte sich die von einer solchen Entwicklung betroffene Welt. Die ablaufenden Vorgänge der Strukturbildung sind oft irreversibel. Die Entwicklung der Vielfalt der Formen und der Komplexität der hierarchischen Organisationen unterliegt im Allgemeinen ebenso dem Richtungssinn wie fast alles übrige Geschehen. So muss die in der Vergangenheit abgelaufene Entwicklung der Welt als ein Prozess ver-

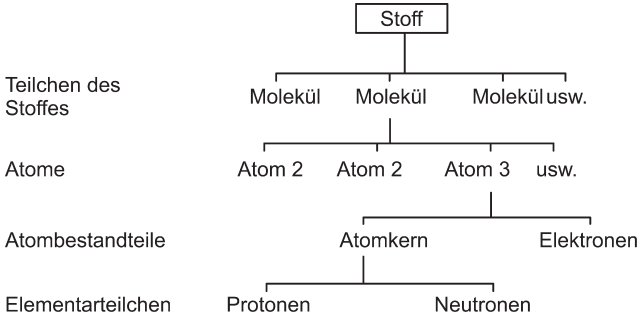

Abb. 5 Teilchenhierarchie im Mikrokosmos.

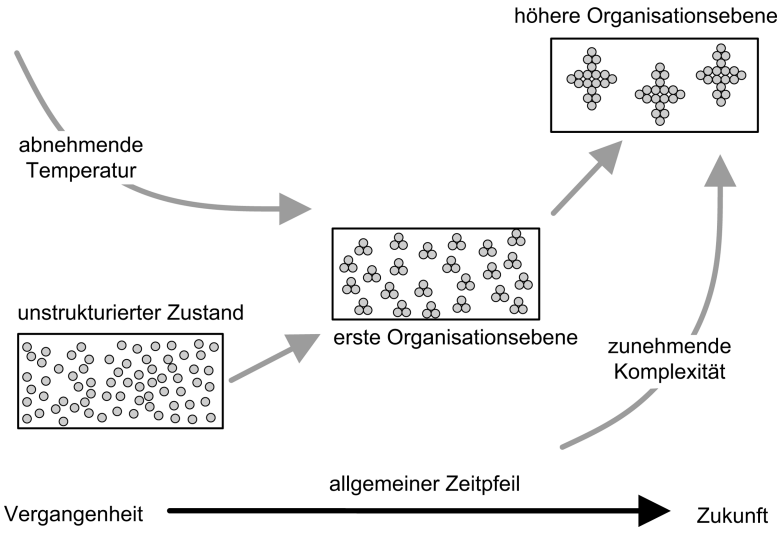

Abb. 6 Der Zeitpfeil in der Entwicklung komplexer Strukturen.

standen werden, der in Richtung wachsender Komplexität verlief (Abb. 6).

Der Bildungstrieb von Strukturen – auch der nicht-biologischen Materie – ist spätestens seit Liesegang im 19. Jahrhundert begriffen worden, deren thermodynamische Grundlagen sind durch Ostwald und Prigogine in der ersten bzw. der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts herausgearbeitet worden. So darf, wenn schon die Frage nach dem Zielpunkt der Weltentwicklung nicht beantwortet werden kann, danach gefragt werden, ob die zukünftige Entwicklung in eine immer höhere Komplexität hinein prognostizierbar ist oder wenigstens ein Ziel dafür angegeben werden kann (Abb. 7).

Spätestens nach den Einsichten der Chaostheorie ist klar, dass sich Einzelheiten zukünftiger Entwicklung, die mit Strukturbildung verknüpft sind, prinzipiell nicht vorhersagen lassen. Modelle, die aus den Verhältnissen eines bestimmten Komplexitätsniveaus abgeleitet wurden, sind im Allgemeinen für die Beschreibung des nächsten Komplexitätsniveaus unzulänglich und verlieren am Übergang ihre Gültigkeit. Die Trajektorien einer Entwicklung können in Abhängigkeit von Einflussparametern Vorhersage-freundlich (konvergent), Vorhersage-erschwerend (divergent), Vorhersage-feindlich (kritisch)

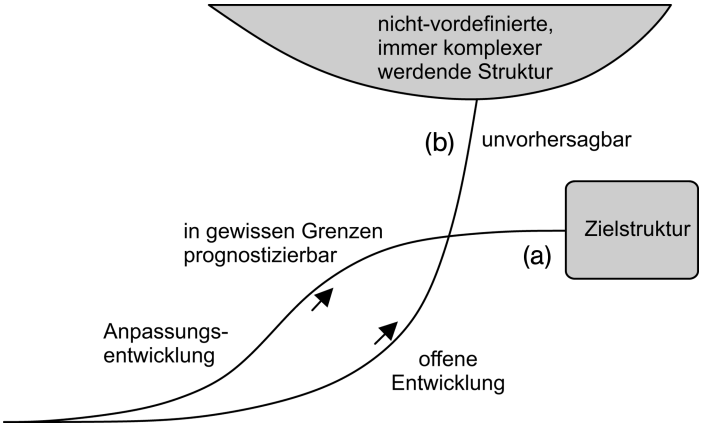

Abb. 7 Entwicklungsalternativen: a) zielorientierter Aufbau von Komplexität; b) nach oben offene Entwicklung.

oder unvorhersagbar (singulär) verlaufen (Abb. 8). Treten Singularitäten auf, gibt es prinzipiell keine Möglichkeit einer langfristigen Voraussage.

So wird nur von philosophischer Seite ein Blick auf die Bestimmung zukünftiger Entwicklung gewagt. Bezeichnenderweise verdanken wir einem Paläoanthropologen eine gut begründete Vision für die zukünftige Entwicklung, die es wagt, den Rahmen bis in eine ferne Zukunft zu spannen. Diese Vision kann naturgemäß nur sehr allgemein formuliert werden und verheißt eine Sphäre unbeschränkter Kommunikation, einen Entwicklungsprozess, der Strukturen hervorbringt, die ein optimales Verschmelzen aller Arten von Information, äußerer Wechselwirkung wie individueller Selbsterfahrung aller Einheiten, ermöglicht. Dieses Modell wurde noch kurz vor dem technischen Aufbruch zur Festkörperelektronik mit hochintegrierten Schaltkreisen durch den Jesuitenpater Teilhard de Chardin formuliert, der über biologische und technische Systeme hinaus aus naturwissenschaftlicher wie auch aus philosophisch-religiöser Sicht die Entwicklung zu einer zukünftigen vollkommen kommunikationsmäßig verschmolzenen Geisteswelt postulierte, die er als Noosphäre bezeichnete (Abb. 9).

Die mit der Entstehung und Entwicklung des Kosmos verbundenen Symmetriebrüche und der Aufbau von hierarchischen Strukturen führten nicht nur zu einer räumlichen Ordnung. Zugleich wur-

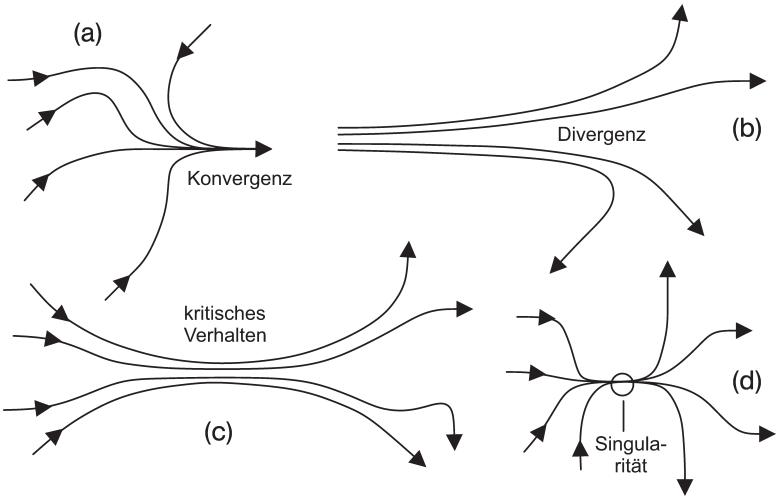

Abb. 8 Vorhersagbarkeit von Entwicklungen (zweidimensionales Modell): a) konvergente Trajektorien; gute Vorhersagemöglichkeit bei Kenntnis des Charakters der Funktionen, auch bei beschränkter Genauigkeit der Messungen und ungenauem Modell sind die Vorhersagefehler klein; b) divergente Trajektorien, auch bei präziser Kenntnis der Funktionen nur eingeschränkte Vorhersagbarkeit, große Messgenauigkeit ist erforderlich, trotzdem treten mit zunehmender Extrapolation immer größere Fehler in der Vorhersage auf; c) kritische Bereiche, die Trajektorien verlaufen so dicht beieinander, dass kleinste Fehler in den Messwerten oder minimale Fluktuationen zu völlig falschen Voraussagen führen, d) singuläres Verhalten, Trajektorien fallen zusammen, Vorhersagen sind prinzipiell unmöglich.

den mit den neu entstandenen Hierarchieebenen der Strukturen auch neue Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten wirksam. Alte, in tieferen Ebenen bereits wirksame Prinzipien wirken dabei in den Substrukturen der komplexer werdenden Systeme fort. Auf diese Weise entstand parallel zur Strukturhierarchie auch eine »Prinzipien-Hierarchie«, innerhalb derer die älteren allgemeiner und fundamentaler sind, die jüngeren die spezielleren darstellen.

Der Aufbau einer jeden hierarchischen Organisation ist durch die Eigenschaften und die Verknüpfung der Elemente der einzelnen Ebenen bestimmt. Das Phänomen der Integration von ursprünglich autonomen Einheiten zu neuen funktionellen Komplexen ist jedem von uns aus der Technik geläufig. Es ist aber auch eine Voraussetzung für die spontane Entwicklung von Komplexität. Es stellt ein Grundprinzip dar, das sich auf eine Reihe wichtiger Vorgänge abbilden lässt, die

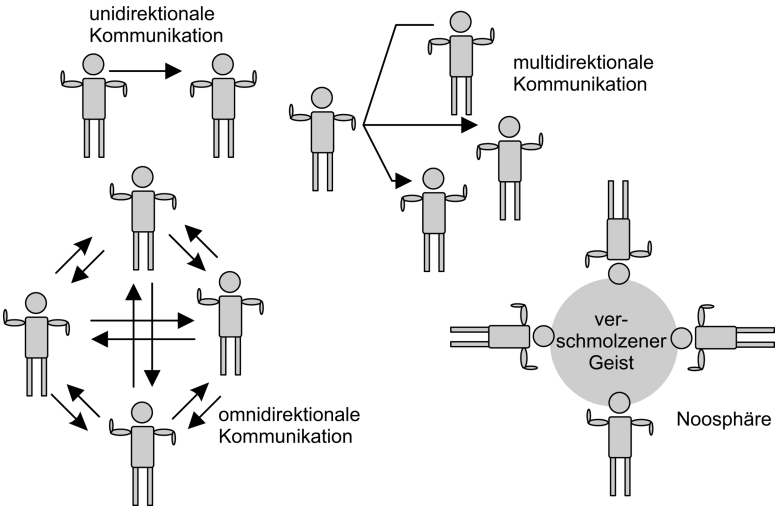

Abb. 9 Menschliche Kommunikation und Vision der Noosphäre nach Teilhard de Chardin.

der Entwicklung des Universums und des Lebens zu Grunde liegen. Nach der Diskussion von fundamentalen Größen und des Kosmos als Ganzem (Kapitel 2 und 3) soll deshalb im Folgenden (Kapitel 4–13) versucht werden, anhand einiger wichtiger Beispiele die Organisationsformen als Produkte von Integrationsprozessen zu beschreiben und damit die Entwicklung des Formenreichtums und des dynamischen Potenzials von unbelebter wie belebter Natur als Konsequenz der Integrationsfähigkeit zu erklären.