

SONDERDRUCK AUS:

Philosophia naturalis

Band 35 (1998) Heft 2

FRIEDEL WEINERT

Fundamental Physical Constants, Null Experiments
and the Duhem-Quine Thesis

MICHEL BITBOL

Some Steps Towards a Transcendental Deduction
of Quantum Mechanics

SIGMUND BONK

Kausalität, Induktion und Außenwelt:
David Humes skeptisch-naturalistische Epistemologie

ERNST KLEINERT

Über die Anschauung im mathematischen Denken

ACHIM MÜLLER

Die inhärente Potentialität materieller (chemischer) Systeme



VITTORIO KLOSTERMANN · FRANKFURT AM MAIN

Achim Müller

Die inhärente Potentialität materieller (chemischer) Systeme

„[...] : cum enim illarum ope materia formas omnes quarum est capax, successive assumat, [...]“

(Descartes, *Princ. Phil.* 3,47)

„[...] in der Möglichkeit des Stoffs liegen keimartig alle Formen beschlossen [...]“

(Averroes/Bloch, 1985, S. 153)

1. Die Vielfalt der Erscheinungsformen der Natur als Forschungsobjekt der Chemie führt zur Philosophie

Die Komplexität der Natur mit ihrer erstaunlichen Formen-,¹ Farben- und Funktionsvielfalt resultiert aus der Vielfalt der Eigenschaften und der Veränderung von „Stoffen“ der Art, wie sie der moderne Naturwissenschaftler – speziell und besonders der Chemiker – untersucht. Von zentraler Bedeutung ist in diesem Zusammenhang das Verständnis der *molekularen* Komplexität und Multifunktionalität,² nicht der Komplexität (als Universalie) eines dissipativen Systems im Sinne der Brüsseler Schule.³ Schon Heraklit verstand die Wirklichkeit als komplexes, gesetzmäßig-aufgebautes und beziehungsgeladenes Gebilde. „Logos“ ist bei Heraklit die Wirkungsweise eines zentral regulierenden Bestandteiles in der Natur, ein Begriff für das Gesetz, demgemäß sich die Wirklichkeit zu einer Einheit von Gegensätzen arrangiert.⁴ Die Einheit der Materie, nach der die Vorsokratiker auf der Suche waren, wird bei Heraklit zu einer Einheit des Fortschreitens, des Wandels und der Bewegung.⁵ Alles Seiende ist einer permanenten Verwandlung unterworfen: Die materiellen Dinge entstehen, verändern sich und vergehen, wobei die kontinuierliche Abwechslung von Gegensätzen – vielleicht entsprechend den unterschiedlichen chemischen Potentialen der modernen Thermodynamik – eine Einheit bildet. Eine herausragende Rolle spielt übrigens hierbei die Welt bzw. die Aktivität der Mikroorganismen. Auch die diesem

Artikel vorangestellten Zitate heben die relevante Potentialität materieller Systeme deutlich hervor. Entsprechendes gilt für ein vieldeutiges Heraklit-Zitat.⁶

Der (chemischen) Reaktion, die zum Ausgleich der chemischen Potentiale führt, kommt als archetypische Art des Wandels, der Veränderung, zentrale Bedeutung im Gesamtgefüge der Wissenschaftsdisziplinen zu. Das gilt gleichermaßen für die Geo- und Biowissenschaften, ebenso auch für die Medizin und die Materialwissenschaften. Der Chemie, die als Wissenschaft die Gesetzmäßigkeiten des Aufbaus und der Veränderung von Stoffen untersucht, fällt darüber hinaus heute eine zentrale Rolle bei der Befriedigung grundlegender menschlicher Bedürfnisse zu.

In diesem Kontext tut es not, auch die relevante kulturelle Signifikanz der Chemie zu reflektieren. Was fasziniert den Menschen mehr, als die Vorgänge zu verstehen, die auf der präkambrischen Erde zur Entstehung des Lebens geführt haben, darüber hinaus aber auch die, die sein eigenes Leben von der frühesten pränatalen Phase bis zum Tod bestimmen? Die Veränderungen materieller Systeme – bzw. entsprechende chemische Prozesse im Kontext zugrundeliegender intrinsischer Potentialitäten – implizieren Fragen philosophischen Inhalts. Dies gilt sowohl im Zusammenhang mit dem korrelierten, aristotelischen Begriffspaar *Dynamis* – *Energeia* als auch im Sinne des aristotelisch-scholastischen Hylemorphismus. Hierzu äußerte sich Heidegger⁷:

„Mit der Synthesis von Stoff und Form ist endlich der Dingbegriff gefunden, der auf die Naturdinge und die Gebrauchsdinge gleich gut paßt.“

Durch die aktuellen materiellen Ingredienzien (Stoffe) wird ein hochdimensionaler, zeitabhängiger Möglichkeitsraum aufgespannt. Zur Verwirklichung einer Möglichkeit kann es allerdings erst durch Kontakte, d. h. Wechselwirkung von Stoffen bzw. Systemen unter geeigneten Bedingungen, kommen. Die Bedingungen, die zur Auslösung einer Reaktion führen, sind dabei philosophisch höchst interessant. Diese bilden nicht nur den Rahmen für den ganzen Forschungsbereich der Chemie, sondern auch das Fundament und Gerüst für die meisten Veränderungen von der Möglichkeit zur Wirklichkeit im aristotelischen Sinne in rein materiellen sowie in biologischen, aber auch geistigen Bereichen. Vermutlich gibt es kaum Veränderungen in unserer Innen- und Außenwelt,

die nicht zumindest von Veränderungen im Sinne der modernen Chemie begleitet werden.

Stellen wir eine zentrale Frage zum Natur- und Materieverständnis: *Was alles „kann“ unbelebte und/oder belebte Materie von nicht mit Bewußtsein begabten Wesen?* Einzeller, die weder Sinnesorgane noch Nervensysteme zur Verarbeitung von Eindrücken aus der Umwelt haben, zeigen z. B. kooperatives/kollektives Verhalten bzw. Musterbildung.⁸ Auch können – in anthropomorpher Darstellung – Bakterien sehen und schmecken. Sie erkennen Konzentrationsunterschiede und orten die für sie günstigeren Lichtverhältnisse; ihre Fortbewegungsrichtung wird dadurch bestimmt. Auch Pflanzen wachsen zum Licht hin. Die Entschlüsselung der Chemie des pflanzlichen Auges zeigte zumindest in den bereits untersuchten Beispielen, daß der relevante Sensor schon chemische Ähnlichkeiten mit dem Rhodopsin-Molekül in den Stäbchenzellen der menschlichen Netzhaut aufweist. Pflanzen zeigen – als Organismen ohne Bewußtsein – darüber hinaus einen Sinn für chemische Reize, für die Schwerkraft, für Berührung und für Temperaturunterschiede. Dies bedeutet: Ein Lebewesen muß, um wahrzunehmen, kein Bewußtsein haben. Hinsichtlich dieser Fakten drängt sich die Frage auf: *Gibt es ein generelles Primat der Materie, dies auch vor dem Hintergrund, daß alltägliche Aktivitäten wie Verdauen und Atmen auch bei höheren Organismen unbewußt ablaufen?*

Jede faktische materielle Veränderung bedingt eine Veränderung des bestehenden Möglichkeitsraumes. Auf der Basis dieses Raumes hat sich auf der frühen präkambrischen Erde offensichtlich durch eine folgenreiche Singularität (nach Boltzmann eine große Fluktuation) oder durch eine Art Fulguration⁹ eine dissipative, autopoietische Organisationsform der Materie – mit der Fähigkeit, bei operationaler Geschlossenheit zu metabolisieren und sich zu replizieren – gebildet.

Chemie handelt auch in der Sichtweise des modernen Chemikers von Veränderungen. Aristoteles hätte also mit großer Anteilnahme die Entwicklungen auf dem Gebiet der modernen experimentellen Chemie verfolgt, da er von jeglicher Art Veränderung fasziniert war. Entsprechendes läßt sich von der sogenannten aristotelischen Linke, d. h. von den bedeutenden arabischen Naturforschern und Philosophen Avicenna und Averroes sagen, aber auch von Hegel („[...] der chemische Prozeß als das ‚Höchste, wozu die unorganische Natur gelangen kann“¹⁰).¹¹ Avicenna hatte nach der Auffassung Blochs den Stoff als das Mögliche bezeichnet, das

zum Hervortritt des äußeren (An-)Stoßes bedarf („Entwicklung ist [...] eductio formarum ex materia [...]“.¹²)

Eine Philosophie der Chemie stellt sicherlich ein sehr wichtiges Teilgebiet der Philosophie der Naturwissenschaften bzw. der Wissenschaftsphilosophie dar. Letztere ist insbesondere heute von fundamentaler Bedeutung: Die Wissenschaftsphilosophie kann nicht nur die ungeheuer große Zahl von Einzelfakten in einen Zusammenhang stellen, sondern sie initiiert zentrale Fragestellungen und vermittelt neue Erkenntnisse.¹³ Es geht in diesem Kontext allerdings – bezogen auf die Naturwissenschaft – im wesentlichen um das Verständnis der Natur, nicht (unbedingt) um eine Metatheorie der Realwissenschaften (Kanitscheider 1988, Stöckler 1989). Grundsätzlich interessieren uns aber sowohl *die Dinge der Natur* als auch *die Natur der Dinge*.

2. Die Chemie beschäftigt sich mit Potentialitäten materieller Systeme – Grundsätzliches sowie Problemstellungen der aktuellen Forschung

Die etwa 90 natürlich vorkommenden Elemente des Periodensystems der (chemischen) Elemente (PSE) und deren Verbindungen verteilen sich, wenn man die dem Menschen relativ leicht zugänglichen Bereiche in Betracht zieht, auf die Atmosphäre, Lithosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre und Anthroposphäre; letztere stellt nach unserer Definition die Gesamtheit der vom Menschen „erzeugten“ Produkte dar.

Die Masse der lebenden Organismen der Biosphäre wird auf etwa 10^{12} Tonnen geschätzt. Diese entfallen überwiegend (>99,99 Prozent) auf die pflanzlichen, d. h. autotrophen Organismen. Charakteristisch sind für die Biosphäre temporäre Beständigkeit einerseits und Wandel andererseits. Aber auch zwischen den Sphären – wie z. B. zwischen der Bio- und den anderen Sphären – erfolgt ein beständiger Stoff- und Energieaustausch. Hierbei unterscheidet sich die Biosphäre von den anderen besonders durch hohe Spezifität und Selektivität ihrer chemischen Prozesse, aber auch durch die unvorstellbare Vielfalt der verschiedenen Produkte, die für die moderne Pharmaforschung übrigens ein großes Potential darstellen. Biotische Systeme sind von dissipativer Natur, d. h. ihr stationärer Nichtgleichgewichtszustand kann nur durch Aufnahme von Energie und Abgabe (Export) von Entropie aufrecht erhalten werden.

Bei allen Typen chemischer Reaktionen (bzw. materiellen Veränderungen) treten qualitative, häufig auch unserer Sinneswahrnehmung zugängliche Veränderungen auf, wobei chemische Strukturen auf molekularer Ebene neu gebildet, zerstört oder umgebaut werden können. Die Definition der chemischen Reaktion bezieht sich hier auf die Bedingung, daß sich die relevanten Elemente bzw. die entsprechenden verschiedenen Atome des PSE bei den Reaktionen nicht ändern. Chemische Prozesse finden im gesamten Bereich der belebten und unbelebten Natur statt: Die meisten Veränderungen in den Sphären waren und sind unabdingbar an chemische Prozesse gekoppelt. Ihre Untersuchung liefert dem Naturforscher Erkenntnisse zum Verständnis der Naturgesetze bzw. über die Eigenschaften, Strukturen und Veränderungen „der Stoffe“. Primär war – historisch gesehen – für den Naturforscher hierbei der Blick auf die makroskopische Ebene gerichtet, die Ebene, welche der Sinneswahrnehmung zugänglich ist.¹⁴

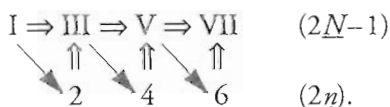
„Synthesen“ in der Biosphäre führen häufig zu außerordentlich komplexen Strukturen wie z. B. zu denen der Proteine. Die Synthese jedes Proteins erfolgt hierbei stufenweise in den Ribosomen nach einem vorgegebenen Programm, d. h. entsprechend der Information, die in der DNS oder RNS gespeichert ist. Erwähnenswert im Zusammenhang ist hierzu Hegels Aussage:

„Die Natur ist als ein System von Stufen zu betrachten, deren eine aus der andern notwendig hervorgeht [...].“
(Hegel, EdpW, S. 31)

Die biologisch letztlich wirksamen Systeme (Strukturen) bilden sich epigenetisch in Selbstorganisations- bzw. Selbstaggregationsprozessen. Dies gilt z. B. für die bis heute nicht vollständig verstandene Proteinfaltung¹⁵ aber auch die in vieler Hinsicht wie z. B. für die Materialwissenschaften, interessante Biomineralisation (Mann 1986, 1996, Lowenstam/Weiner 1989). Zu letzterer zählen z. B. die Bildung von Knochen, Zähnen, Schneckenhäusern, aber auch die große Vielfalt der Diatomeenschalen. Ein Schulbeispiel aller Lehrbücher der Biochemie für einen Selbstaggregationsprozeß ist derjenige, der beim Aufbau des Tabak-Mosaik-Virus greift. Bei diesem Prozeß, der bemerkenswerterweise auch in-vitro – d. h. im Reagenzglas – erfolgt, aggregieren 2130 identische Proteinbaueinheiten zu einer zylinderförmigen Virushülle.

Der Chemiker steht mit seinen Möglichkeiten bei der Synthese sehr komplexer Strukturen weit hinter der Natur zurück. Er kann molekulare Komplexität *im allgemeinen* nur mit großem Aufwand in Mehrstufenreaktionen formen. Als Beispiel sei hier die Synthese des Antikrebsmittels Taxol, aber auch des roten, marinen Neurotoxins Brevetoxin B genannt (Nicolaou/Sorensen 1996) (die verheerende Wirkung des Brevetoxins bei den „roten Gezeiten“ wurde schon in der Bibel beschrieben: „Und alles Wasser im Strom ward in Blut verwandelt. Und die Fische im Strom starben, und der Strom ward stinkend, daß die Ägypter nicht trinken konnten des Wassers aus dem Strom; [...]“ (Mose Buch II, Exodus, 7:20–21)).

Da man aber in Eintopfverfahren bei Selbstaggregationsprozessen (d. h. ohne den erwähnten beschriebenen Aufwand), die auf sehr einfachen Ausgangsprodukten basieren, im Labor nach allgemeiner Auffassung nur relativ symmetrische molekulare Gebilde mit vergleichsweise geringer Komplexität und Funktionalität erhält^{16, 17}, stellt sich die Frage, ob vielleicht bei Wahl spezieller Systeme und Ingredienzien, d. h. unter speziellen Bedingungen auch molekulare Komplexität in einer Art „Wachstumsprozeß“ stufenweise entsprechend folgendem Schema entstehen kann:



Hier beziehen sich die angeführten römischen Zahlen $(2\underline{N}-1)$ auf eine Serie von „Reifungsprozessen“ eines molekularen Systems im Wachstum, wobei die arabischen Zahlen $(2\underline{n})$ für Bestandteile des Reaktionsgemisches stehen, die ausschließlich mit nur einem Zwischenprodukt $2\underline{N}-1$ reagieren. Besonders wichtig ist hierbei das Vorliegen eines gekoppelten (konservativen) Selbstorganisationsprozesses, bei dem die Spezies $2\underline{n}$ durch die „inhärente Information“ gebildet werden, die in $2\underline{N}-1$ Zwischenprodukten enthalten ist. *Das bedeutet konkret, daß das Intermediat $2\underline{N}-1$ als Templat aus den Produkten der Lösung die Bildung des Intermediates $2\underline{n}$ induziert, mit dem es dann selbst eine Reaktion eingeht.* Das Endprodukt des Wachstumsprozesses ist das Zielmolekül (hier VII). Es handelt sich um einen Prozeß in Gleichgewichtsnähe, der eine Folge von

„molekularen Symmetriebrüchen“ aufweist. Hinzuzufügen ist, daß uns der Nachweis eines derartigen Prozesses gelungen ist (Müller et al. 1998).¹⁸

Für den Chemiker gibt es hiermit eine kreative Vorgehensweise: Die systematische Erforschung (vor allem nach einem „trial and error“-Verfahren) der Potentialität oder der Disposition spezieller Systeme, die sich durch eine Vielfalt *verschiedener* Selbstaggregationsvorgänge bzw. molekularer Wachstumsprozesse auszeichnen. (Dies sind dann Systeme im Sinne der eingangs zitierten Aussage von Heraklit⁶). Hierbei geht es im wesentlichen um die Verknüpfung von elementaren Baueinheiten, die sehr empfindlich von der Wahl der Randbedingungen abhängt. Beim heutigen Stand der Wissenschaft sind wir noch nicht generell in der Lage, die Strukturen aller Produkte vorauszusagen, welche bei der Verknüpfung von einfachen Fragmenten in derart komplexen Reaktionssystemen entstehen können.¹⁹ Die detaillierte Kenntnis des Systems stellt aber die Voraussetzung dafür dar, daß approximative Wege beschritten werden, auf denen grundsätzlich Emergenz, zunehmende Komplexität sowie Multifunktionalität der Reaktionsprodukte auftreten können. Potentialitäten – im Sinne von dispositionellen Eigenschaften (vgl. unten) – werden hierbei vom Chemiker durch spezielle Rand- bzw. Reaktionsbedingungen gleichsam „geweckt“. Beispielhaft soll hier auf die Synthesen komplexer Fullerene und (mit Einschränkung) Dendrimere (Kaskaden-Moleküle)²⁰, aber auch auf die von uns dargestellten molekularen Riesenräder aus dem Bereich der Polyoxometallat-Chemie hingewiesen werden²¹ (vgl. Abb. 1). Für die Fullerene, besonders für das aus 60 Kohlenstoff-Atomen bestehende Molekül mit der Struktur eines Fußballs, haben sich übrigens weite Kreise von Nichtchemikern interessiert. Ihre Entdeckung wurde kürzlich durch die Verleihung von Nobel-Preisen gewürdigt. Maßgeblich für materielle (chemische) Systeme des obigen Typs ist, daß die Reaktionsprodukte im Einklang mit den relevanten Naturgesetzen eine unglaubliche Vielfalt von Formen annehmen können. Die Möglichkeit hierzu resultiert aus den vorhandenen Bedingungen, wobei die Verwirklichung im Sinne der aristotelischen Physik aber erst erfolgt, wenn die Gesamtheit aller notwendigen Bedingungen realisiert ist. Im Falle der angesprochenen Polyoxometallate untersucht man Lösungen, die elementare Bausteine enthalten. Diese weisen verschiedene Symmetrien auf und haben z.T. die Form platonischer Körper. *Bei spezifischen Veränderungen der Reaktionslösung verknüpfen sich die*

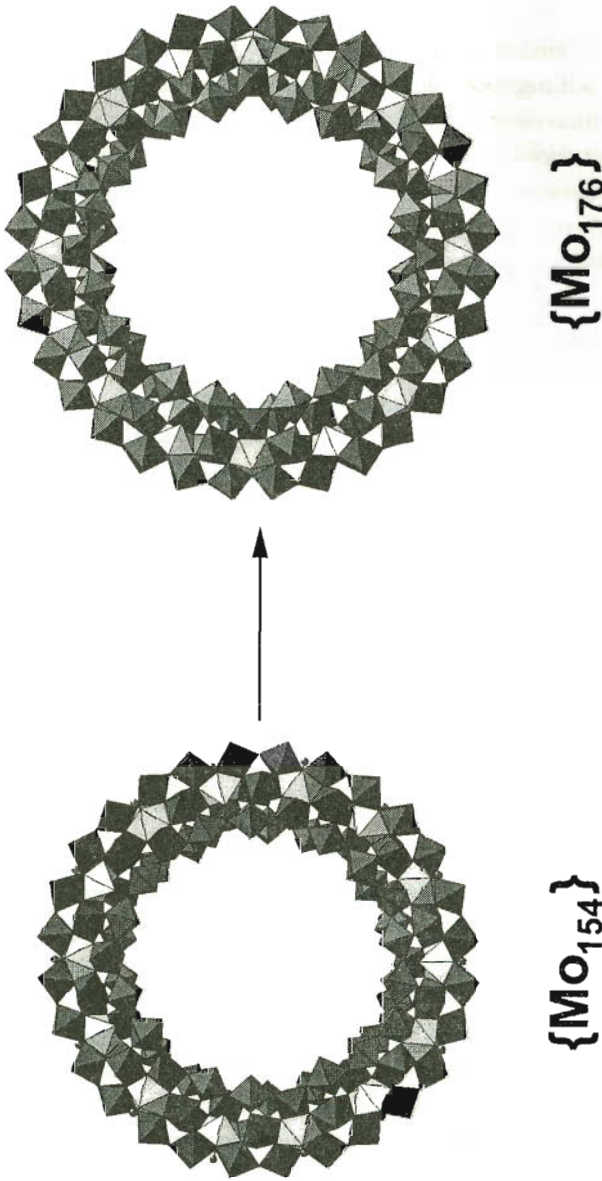


Abb. 1. Das sogenannte „Bielefelder Riesenrad“ (links), das im wesentlichen aus verknüpften Oktaedern (sechs Sauerstoffatome mit zentralem Metallatom) besteht. Schönheit und Ordnung bzw. Gesichtspunkte der Gleichheit „leiten“ die Materie. Platon hätte seine Freude gehabt. Bemerkenswert ist, daß durch Abwandlung der Reaktionsbedingungen ein noch größeres molekulares Rad (rechts), das die selben Baueinheiten aufweist, entsteht (vgl. Müller/Beugkolt 1996).

Bausteine verschiedenartig, wobei eine große Vielfalt von emergenten Strukturen entsteht (vgl. z.B. Abb. 1).

Gelegentlich – vielleicht sogar häufig – spielten und spielen Zufälle, aber auch „Schmutzeffekte“ bei der Synthese von faszinierenden Verbindungen durch den Chemiker eine wichtige Rolle. Ein Beispiel: Die Zufallsentdeckung des ersten Kronenethers – eine Art „molekulare“ Tasche für positiv geladene Teilchen, also Kationen – als nicht gewünschtes Nebenprodukt durch Pedersen. Der Industriechemiker C. J. Pedersen (DuPont, Delaware, USA), dem später zusammen mit D. J. Cram und J.-M. Lehn der Nobelpreis verliehen wurde, wollte aus dem einfach „geschützten“ (nicht reaktionsfähigen) Brenzkatechin 1 und dem Bis (2-chlorethyl)ether 2 das Bisphenol 3 synthetisieren. Dabei wurde 1 ganz ohne Absicht (*zufällig*) in unreiner Form eingesetzt; es enthielt ungeschütztes Brenzkatechin. Aus diesem Grund fiel bei der Aufarbeitung des Reaktionsproduktes neben 3 in geringer Ausbeute (0.4%) ein cyclischer Hexaether 4, also ein Kronenether mit an. Dies sollte der Startpunkt für die stürmische Entwicklung der supramolekularen Chemie sein (Vögtle 1992, Cram/Cram 1994, Stoll 1996).

Der Chemiker kann aber auch relativ komplexe molekulare Gebilde in speziellen Fällen im Eintopfverfahren direkt *gezielt* darstellen, wenn die Ausgangsprodukte entsprechend gewählt wurden. Lehn beschreibt bestimmte Abläufe in Multikomponentensystemen, die zur spontanen Bildung einer vom Chemiker gewünschten supramolekularen Verbindung aus zahlreichen Edukten führt, wie folgt: „Die Selbstorganisation einer bestimmten supramolekularen Struktur umfaßt drei Phasen: *Erkennung* der Einzelkomponenten untereinander, richtige *Orientierung*, um Wachstum zu ermöglichen, *Termination* des Prozesses, der zu einem diskreten supramolekularen Verband führt.“ (Baxter/Lehn/DeCian/Fischer 1993). Speziell für den Fall der Bildung eines „gewünschten“ molekularen Zylinders bzw. eines adäquaten supramolekularen Verbandes aus zahlreichen Ausgangsprodukten – fünf Liganden und sechs Metallionen – liest man in der Abhandlung, allerdings einem Anthropomorphismus folgend: „Bei der Bildung [...] aus Metall-Ionen und Liganden müssen letztere ein ‚sterisches Programm‘ enthalten, das von den Metall-Ionen ‚gelesen‘ wird, wobei sie einem Algorithmus folgen, der durch ihre Koordinationsgeometrie gegeben ist.“ Hier läuft der Prozeß entsprechend dem vorgegebenen Programm des Chemikers ab. Die Ausgangsprodukte sind hier allerdings kompliziert und so ausge-

wählt, daß nur der „gewünschte“ molekulare Zylinder zielgerichtet entstehen kann.

3. Das Regulativ Möglichkeit-Wirklichkeit, auch im Kontext der Nichtvoraussehbarkeit und der Multidetermination des Geschehens

Das korrelierte aristotelische Regulativ Dynamis – Energeia erlaubt es in seiner allgemeinsten Bedeutung, über die *dispositionellen Eigenschaften anthropogener materieller Systeme, aber auch über die von (Natur-)Produkten und speziell solcher von aktueller Bedeutung*, zu reflektieren.²² Als Beispiele seien genannt: (1) die *mögliche* folgenschwere Entartung bzw. Strukturänderung spezieller Proteine als Auslöser einer neurodegenerativen Erkrankung und (2) die allgegenwärtige *potentielle* Mutation von Viren, die schon relativ früh von Pascual Jordan als Rieseneiweißmoleküle bezeichnet wurden, zu solchen sehr gefährlichen Typs. (Die aktuelle AIDS-Problematik zeigt übrigens die Gefahr, die von „veränderbaren“ Viren bzw. deren Hüllproteinen ausgeht.) Hier wird an einem speziellen Beispiel auf molekularer Basis deutlich, daß im Naturprozeß auf Dauer nie Konstanz zu erwarten ist. *Die relevante Nichtvoraussehbarkeit bzw. Multi-determination des möglichen Geschehens* (natürlich nicht im Sinne der aristotelischen Physik) *greift im Mikrobereich substantieller Träger gleichermaßen wie bei Prozessen im Makrobereich unseres Ökosystems*, d. h. im meteorologischen Geschehen. Der Wissenschaftler erfährt in diesem Zusammenhang daher keine Details über lineare Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Die Details zur Vielfalt der möglichen Triebkräfte, die die von Zufall und Notwendigkeit geprägten Abläufe der Natur bestimmen, bleiben uns verborgen.

Die Kreation einer „neuen Substanz“ durch den Chemiker, von der man nicht alle dispositionellen Eigenschaften kennt – vielleicht auch durch einen vom Zufall geprägten Prozeß oder durch einen wie oben geschilderten „Schmutzeffekt“ entstanden – kann *nicht prognostizierbare Reaktionen* auslösen, gegebenenfalls aber auch durch Wechselwirkung mit biotischen Basis-Strukturen pathologische Veränderungen hervorrufen. Dies gilt entsprechend, wie bereits erwähnt, für einen durch Mutation in seiner Toxizität gefährlich gewordenen Virus, ja selbst für ein in seiner Struktur verändertes Protein. Das im Kontext der so ge-

nannten spongiformen Encephalopathien – neurodegenerative Erkrankungen des Typs TSE (Transmissible Spongiform Encephalopathy) – diskutierte Prion-Protein (PrP, proteinaceous infectious particles) ist ein Beispiel hierfür. Dieses PrP kann entsprechend einer Theorie von Stanley Prusiner in zwei verschiedenen Formen, d. h. mit verschiedener Faltung existieren: in der natürlichen Struktur, wie sie im Gehirn eines jeden höheren Säugers vorliegt sowie in einer degenerierten „infektiösen“ Form. Hierbei sollten sich bei Auslösung der Krankheit in der Struktur des normalen PrP die spiralförmigen Windungen (sogenannte Alpha-Helix-Bereiche) in die des „infektiösen“ PrP mit flachen, bänderartigen Abschnitten (sogenannte Beta-Faltblatt-Struktur) unter Beibehaltung der Sequenz der Aminosäuren-Bausteine umwandeln. Der Theorie von Prusiner folgend ist ein entartetes PrP in der Lage, dem normalen PrP im Gehirn, d. h. im ursprünglich gesunden Organismus, die eigene degenerierte Struktur aufzuzwingen. Einem Schneeballsystem vergleichbar können sich die entarteten PrPs dann lawinenartig „vermehrten“, mit der Konsequenz, daß schwammartiges (spongiformes) Hirngewebe im Organismus zurückbleibt.²³ Es besteht aber auch die *Möglichkeit*, daß sich das entsprechende Protein spontan „umfaltet“ und dadurch die Krankheit ausgelöst wird. (Dies kann z.B. im Falle einer durch einen Gendefekt etwas veränderter Struktur der Fall sein).

Nun gibt es grundsätzlich ähnlich gelagerte materielle Prozesse, die entsprechend dem Prinzip „kleine Ursache, große Wirkung“ ablaufen, oder anders ausgedrückt solche, die nicht „einfach“ dem Prinzip „causa aequat effectum“ folgen. Einer geringfügigen Einwirkung auf einen Bedingungskomplex mit seinen Möglichkeitsräumen, von denen sich bestimmte Möglichkeiten verwirklichen, können große – grundsätzlich auch nicht erwartete – Wirkungen folgen. Der in eine Lösung eingebrachte Kristallkeim verursacht das plötzliche Auskristallisieren zahlreicher größerer Kristalle, der Funke die Explosion von Gasgemischen besonderer Zusammensetzung, der Katalysator in geringen Konzentrationen – und ohne eigene Veränderung – die Auslösung einer Reaktion und wenige thermische Neutronen die folgenreiche Kettenreaktion bei der Kernspaltung, wie z.B. beim Uran. In allen Fällen handelt es sich um die Möglichkeit zur Veränderung eines Systems im Kontext einer Auslösekausalität, bei der ein Verstärkerprinzip des Bedingungskomplexes zugrundeliegt. Vielleicht sollte man sich an dieser Stelle an Äußerungen des bedeutenden Industriechemikers Alwin Mittasch erinnern,

der sich bei Reflexionen über den katalytischen Prozeß – entsprechend seiner philosophischen Intention – mit den relevanten (Auslöse-)Kausalitätsbegriff auf den großen Naturforscher Robert Mayer bezieht.^{24, 25}

Das *Verstärkerprinzip* greift übrigens auch bei Vorgängen, die zur Ausbildung von *dissipativen stationären komplexen Nichtgleichgewichtsstrukturen* bzw. zum möglichen Phasenübergang des relevanten Systems führen: Fluktuationen fungieren als Auslöser und werden verstärkt.²⁶ Sicherlich werden die komplexesten materiellen Strukturen in biotischen – also auch dissipativen – Systemen erzeugt. Aber die Theorien der Brüsseler Schule, die deren grundsätzliche Existenz bzw. Stationarität erklären, können nicht ihre differenzierte strukturelle molekulare System-immanente Komplexität und Funktionalität erklären, sondern nur ihre Voraussetzung.²⁷ Im lebenden Organismus laufen nämlich auch zahlreiche konservative, aber dennoch als extrem komplex zu bezeichnende Prozesse ab, wie z. B. die Verknüpfung von Makromolekülen zu „höher“ organisierten Strukturen oder die nur scheinbar einfache, bisher nicht verstandene Faltung von Polypeptidketten bzw. Proteinen. Letztere führt von der gendeterminierten Primär-Struktur zur biotisch wirksamen Tertiär- bzw. Quartär-Struktur. Die Faltung der Polypeptidkette erfolgt (spontan) derart, daß ihre hydrophoben Seitenketten im Inneren versteckt sind.

*Die Multidetermination bzw. die nicht eindeutige Vorausbestimmtheit des Geschehens*²⁸ korreliert auch mit der scheinbar trivialen Tatsache, daß die Reaktion zwischen Stoffen in allen möglichen Fällen ihre gleichzeitige Anwesenheit voraussetzt. Diese ist aber selbst nicht immer im Laborversuch vom Chemiker geplant, wie das obige Beispiel der Synthese des ersten Kronenethers durch Pedersen zeigt. *Darüber hinaus können wir alle Dispositionseigenschaften eines Stoffes grundsätzlich nicht kennen, da dies die Kenntnis aller Wechselwirkungen bzw. Reaktionen mit allen bekannten und selbst unbekanntem Stoffen voraussetzt.* Die Physis (im Sinne von Wesen) eines Dinges – auch der chemischen Substanz – ist seine Teilhaftigkeit am Ganzen. Schon Heraklit bemerkte, daß uns die *Physis* verborgen bleibt.

*Entsprechend besitzt ein Stoff nicht Eigenschaften „an sich“, d. h. getrennt von realen Wechselwirkungen.*²⁹ Hierzu sei ein interessantes aktuelles Beispiel erwähnt: Die zweiatomigen Moleküle Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffmonoxid (NO) gelten als hochtoxisch. Seit einigen Jahren weiß man jedoch, daß ihnen in geringen Konzentrationen als Neurotransmit-

ter in biotischen Prozessen eine zentrale Rolle zukommt.³⁰ Die Substanzen der Chemie und Biochemie sind also bezüglich ihrer Bedeutung für den Menschen und für das Naturgeschehen grundsätzlich ambivalent. Bemerkenswert im vorliegenden Fall ist, daß kein Naturwissenschaftler früher mit der erwähnten neurochemischen Funktion der kleinen zweiatomigen Moleküle gerechnet hätte.

Zurück zum relevanten materiellen *Gesamtgeschehen*: Die offensichtliche Unerschöpflichkeit der Materiestrukturen, die letztlich auch zur angesprochenen Vielfalt der molekularen Komplexität führt, läßt sich prinzipiell durch die Annahme unbegrenzter Potentialitäten beschreiben. Dies gilt vor allem im Bezug zur Unerschöpflichkeit der Kombinationsmöglichkeiten der Elemente des Periodensystems sowie ihrer Verbindungen. Die schier unglaubliche Vielfalt der heutigen irdischen Erscheinungsformen wurde sowohl durch Strukturbildungsprozesse konservativer als auch dissipativer Art erzeugt. Erstere sind allgegenwärtig in der Geosphäre, letztere sind typisch für die Biosphäre, wobei speziell informationsgesteuerte Abläufe wie bei der Genexpression eine besondere Rolle spielen. Beigetragen haben aber auch ganz wesentlich anthropogene Prozesse der Chemie.

Die uns bekannte Mannigfaltigkeit der materiellen Erscheinungsformen stellt aber nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Möglichkeitsraum dar, der durch die Ingredienzien der Materie, z. B. die chemischen Elemente, aufgespannt wird. Die Realisierung eines geringen Teils der in diesem Möglichkeitsraum verborgenen Optionen, *vor allem auch durch nichtgesteuerte Abläufe*, vollzieht sich in den Spannungsfeldern von Möglichkeit und Wirklichkeit. Hierbei kam und kommt dem Zufall, vielleicht einer Erscheinungsform von uns unbekanntem Gesetzen, eine besondere Rolle zu. *Der Zufall* als ein aus der Unerschöpflichkeit sich ergebendes, nicht vorhersehbares, mögliches Phänomen, das ohne erkennbare Ursache auftritt, *hatte* im Evolutionsprozeß und *hat* generell im Naturgeschehen fundamentale Bedeutung^{31, 32} (vgl. hierzu auch obige Angaben zur möglichen und nicht voraussehbaren spontanen Entartung des Prion-Proteins). Zufälle *und* die dispositionellen intrinsischen Eigenschaften bzw. die Potentialitäten materieller Systeme bestimmten und bestimmen das Geschehen – häufig übrigens auch, wie oben erwähnt, in der chemischen Forschung.

Der Begriff des Möglichkeitsraumes ist ein zentraler Terminus der (Natur-) Philosophie. In jeder materiellen Einheit, d. h. speziell jeder chemischen

Substanz, sind Potentialitäten im Sinne von Dispositionseigenschaften enthalten. Dabei hängt es gegebenenfalls vom Zufall – nach Hegel die Erscheinungsform der Notwendigkeit – und der Naturgesetze ab, welche Potentialitäten unter den jeweiligen „Umweltbedingungen“ zum Tragen kommen, d. h. ob und auf welche Weise hierdurch Veränderungen im chemisch-materiellen Reaktionsgeschehen verursacht werden. Es stellt sich folglich hier vor allem auch die Frage nach den Voraussetzungen für die lebensformenden Prozesse auf der frühen präkambrischen Erde, nach den Faktoren also, die für ein Verständnis der Genese, Interaktion und Veränderung materieller Systeme im Rahmen präbiotischer Prozesse eine Relevanz besitzen; *es stellt sich auf höherer Abstraktionsstufe die Frage nach den intrinsischen Potentialitäten materieller (chemischer) Systeme.*³³

Hier kann der Chemiker auf der Ebene der (unbelebten) materiellen Systeme ausloten, welche *Grundprozeßarten und Grundphänomene* relevant sind, wie z.B. (molekulares) Wachstum und dessen Begrenzung, artifizielle Replikation, Steuerung der Verknüpfung einfacher (chemischer) Fragmente zu einer großen Mannigfaltigkeit von Substanzen, Ablesefehler bei der informationsgesteuerten Verknüpfung, Irreversibilität des materiellen Geschehens im Kontext mit dem relevanten Zeitpfeil, „Reizbarkeit“ (Reaktion auf äußere Reize), Singularitäten in Systemen mit Fehlordnungen und katalytisch steuernd wirkende Oberflächenstrukturen.³⁴

Das Dynamei-on (das In-Möglichkeit-Sein) materieller Systeme ist nicht nur von Bedeutung für die Fülle des Seienden, sondern *auch das Entscheidende für die Irritabilität biotischer Systeme.* Jedes dieser Systeme verfügt aufgrund spezifischer chemischer Strukturen über die Möglichkeit, auf zahlreiche *verschiedene* Reize *verschieden* (und sogar zu gleicher Zeit) spezifisch zu reagieren, übrigens eine prinzipielle dispositionelle Eigenschaft aller Organismen im Wechselspiel „mit ihrer Welt“.

Was sind nun die ontologischen Systemannahmen, daß Mögliches existiert und in Wirkliches übergehen kann? Holz⁶ nennt drei Annahmen: 1. „Die Welt muß unendlich sein, sonst würde der Prozeß der Verwirklichung von Möglichkeit sich einmal erschöpfen. In einem unendlichen System von Beziehungen bedeutet dagegen jede Rekombination von Elementen nicht nur das Verwirklichen einer vorher nur möglichen Ordnung, sondern zugleich die Erzeugung neuer Kombinationsmöglichkeiten usw. [...] Verhältnisse, die aus sich selbst heraus reicher werden.“ 2. „Die Welt muß extensional, also materiell sein, wenn das Ver-

hältnis des Einen zum Anderen bestehen soll.“ 3. „Die Welt muß im Prozeß von Veränderungen und also zeitlich sein; [...]“⁶

In der Terminologie der chemischen Thermodynamik gesprochen ist die Grundvoraussetzung für Veränderung, d. h. für die Verwirklichung von Möglichkeiten, das Vorhandensein verschiedener chemischer Potentiale.

4. Ausblick

Die schier unerschöpfliche Potentialität (das aristotelische *Dynamei-on*) materieller (*chemischer*) Systeme, die auch die Basis für die Vielfalt der Irritabilität der Organismen darstellt, bestimmt das Geschehen. Dies bezieht sich u. a. sowohl auf jede Art von Wechselwirkung zwischen „einfachen“ Organismen als auch auf die Kommunikation zwischen höheren Organismen, die phänomenologisch auf visuellen und akustischen Kontakten beruht. Darüber hinaus existiert eine „unmittelbare“ *chemische* Kommunikation: Sogenannte Pheromone (Duftstoffe) steuern bzw. beeinflussen Physiologie und interaktives Verhalten in der Welt tierischer Organismen, und das selbst über sehr große Entfernungen. Dies ist nur ein Beispiel für die Tatsache, daß es in unserer Welt keine isolierten Bereiche gibt, wobei die Art ihrer Wechselwirkungen auf Veränderung materieller (*chemischer*) Aggregate beruhen kann. Insofern erkennen wir nicht die Dinge selbst, sondern nur die Beziehungen zwischen ihnen (vgl. hierzu²⁹). Alle materiellen (chemischen) Substanzen – bekannte sowie unbekannt in unendlicher Zahl und aufgrund der Gesetze mögliche – sind „verschränkt“. Die Nichtvoraussehbarkeit des Geschehens ist die Folge.

Neue Aufsehen erregende Studien ergaben jetzt sogar, daß selbst die Ovulation durch menschliche Pheromone gesteuert werden kann. Hierzu lesen wir in einem der letzten Hefte des Wissenschaftsmagazins „Nature“: „This carefully controlled study clearly shows, for the first time, that the potential for chemical communication involving sexual function has been preserved in humans during evolution.“ (Weller 1998, Stern/McClintock 1998).

Kehren wir also nochmals zum Möglichkeitsraum der präkambrischen Erde, der letztlich diese Evolution mit der Fülle der Erscheinungsformen bestimmt hat, und damit auch zum Beginn des Aufsatzes zurück. In der

Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ wird S. A. Kauffman, ein Wissenschaftler des berühmten Santa-Fe-Instituts, in dem Problemen der Selbstorganisation nachgegangen wird, wie folgt zitiert:³⁵

„[...], daß ein System aus einfachen Chemikalien einen dramatischen Wandel oder Phasenübergang vollziehe, wenn es einen bestimmten Grad an Komplexität erreicht. [...] autokatalytische Prozesse – und nicht die zufällige Bildung eines Moleküls mit der Fähigkeit zur Replikation und Evolution – [hätten] am Ursprung des irdischen Lebens gestanden.“ (Horgan, 1995, S. 58)

Das bedeutet realiter, daß aus einem bestimmten Reaktionssystem „korrekter“ Zusammensetzung über Rückkopplungs- und Verstärkungseffekte extrem komplexe Systeme resultieren können.³⁶

Eine grundsätzliche Frage ist und wird es wohl immer sein: War mit der Bildung der chemischen Elemente auf der frühen präkambrischen Erde die Basis dafür geschaffen, daß die Biosphäre, wie sie sich uns heute darstellt, entstehen mußte, oder war ein „früherer“ Zufall nach Monod das tragende Element für die Evolution?³⁷ Letzteres bedeutete, daß für die Entstehung unserer Lebensformen nur eine geringe Chance bestanden hätte. Unsere Kenntnis der Eigenschaften der chemischen Elemente, bzw. die im Aufsatz genannten dispositionellen Eigenschaften der Materie unter den Bedingungen des Planeten Erde deuten allerdings darauf hin, daß eine gewisse Zwangsläufigkeit für die „sehr grobe Richtung“, die die Evolution der Bio- und Geosphäre genommen hat, bestand. Multidetermination und Zufälle haben allerdings – hieran besteht kein Zweifel – darüber hinaus entscheidende Details (und auch die Vielfalt) bestimmt und bestimmen sie noch weiterhin.

Schließen wir mit Leibniz: „Omne possibile existiturire“.³⁸

Anmerkungen

- * Der Autor dankt Prof. Dr. R. Ahlswede, Prof. Dr. H. Hörz, Dr. B. Redeker, Prof. Dr. W. Saltzer, Prof. Dr. M. Wolff und Prof. Dr. R. Zimmermann für wertvolle Hinweise sowie Herrn Dipl.-Chem. P. Kögerler für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und dem Fonds der chemischen Industrie für finanzielle Unterstützung.

- 1 G. W. Leibniz war in diesem Zusammenhang noch zum Staunen fähig und äußert sich hierzu in einem Brief an die Königin Sophie Charlotte (1702): „Man muß indessen auch zugeben, daß es irgendeine *von der Materie getrennte Substanz* gibt. Dafür braucht man nur zu bedenken, daß es eine unendliche Zahl möglicher Formen gibt, die die ganze Materie hätte erhalten können anstelle dieser Folge von Veränderungen, die sie tatsächlich erhalten hat.“ (vgl. Leibniz, Ausgabe 1990). Hierbei ist es allerdings geboten, auf die verschiedenen Bedeutungen des Reflexionsbegriffes Form (Eidos/Morphe) hinzuweisen.
- 2 Vgl. auch die engl. Termini „multi-property“ und „multi-functional materials“, die heute vor allem in diesem Kontext von Materialwissenschaftlern benutzt werden.
- 3 Vgl. hierzu Nicolis/Prigogine 1989, Prigogine 1979, 1995, Prigogine/Stengers 1990, 1993, sowie die dort zitierte Originalliteratur. Die (relative) Komplexität molekularer Systeme steigt mit der Zahl der System-immanenten Elemente und ihrer Verknüpfungen und darüber hinaus mit Zunahme der Verschiedenartigkeit der Elemente (zum Komplexitätsbegriff im Kontext der Nichtlinearität, die zum stationären Nichtgleichgewichtszustand führt, vgl. Mainzer 1997).
- 4 „Nicht der Prozeß der sich wandelnden Substanz ist ihm das Wesentliche, sondern [...] die Gegensätzlichkeit aller Erscheinungen.“ (vgl. hierzu Nachwort in Snell 1944, aber auch Kirk 1987 (Kapitel: Von den Mythen zur Philosophie?) und Kahn 1995).
- 5 Zu Details siehe Mansfeld 1991, Pleger 1991, Buchheim 1994, Kirk/Raven/Schofield 1994 und Paslack 1996.
- 6 „[...] λόγος ἑαυτὸν αὔξει“ (DK B115) („[...] Verhältnisse [Logos], die aus sich selbst heraus reicher werden.“). Dies ist sicherlich eine etwas freie Übersetzung von H. H. Holz in Sandkühler 1990 (Bd. 3, L–Q, Stichwort: Möglichkeit). Bei Fink 1985 (Kapitel IV: Heraklit) liest man dagegen: „Wird [...] der *logos* [...] als kosmische Macht der Seinsfügung alles Seienden, als Lese verstanden, dann bezieht sich das Sichselbstmehren gerade auf den *Einbruch des kosmischen logos* in den Menschen. Im Bezug zum Menschen mehrt sich der *logos*.“
- 7 Vgl. hierzu Heidegger (Kapitel: Der Ursprung des Kunstwerkes), Auflage 1994.
- 8 Zum „Verhalten“ von Mikroorganismen liest man auch thematisch Relevantes bei Lorenz 1993 (Kapitel IV, 3: Die Reizbarkeit), S. 67 und bei Haken 1995.
- 9 Vgl. hierzu Lorenz 1993 (Kapitel: Die Entstehung neuer Systemeigenschaften), S. 47.
- 10 Zitiert nach Anzenbacher 1992; vgl. hierzu Hegels Äußerung: „Der chemische Prozeß ist die Totalität des Lebens der unorganischen Individualität.“ (Hegel EdpW, Ausgabe 1970, §326 (Zusatz), S. 288).
- 11 Zur relevanten Naturphilosophie und speziell zum Chemieverständnis Hegels vgl. auch von Engelhardt 1976 und Petry 1987.
- 12 Nach Bloch (1985, S. 153) ist Avicenna der „Denker der *universalen Potenz*“ und (so Bloch) „[...] Averroes [...] machte die universale Materie zum

- Schatzraum der Welt; item: in der Möglichkeit des Stoffs liegen keimartig alle Formen beschlossen und versammelt, [...]“; siehe auch Anhang: Avicenna und die Aristotelische Linke, S. 479–546.
- 13 Wissenschaftstheoretische Aspekte der Chemie werden in der Abhandlung von Psaros/Ruthenberg/Schummer 1996 angesprochen.
 - 14 Hierbei ist allerdings die simple Reduktion der Makroebene auf die der Mikroebene sicherlich problematisch; vgl. z. B. Primas 1983 und 1985 sowie Müller 1992 und 1994.
 - 15 Dem entspricht das sogenannte Levinthal-Paradoxon (vgl. hierzu Karplus/Sali/Shakhnovich 1995, Rieger 1995 sowie Wolynes/Onuchic/Thirumalai 1995). H. Frauenfelder und P. G. Wolynes fragen in diesem Zusammenhang interessanterweise nach der Schnittlinie zwischen Einfachheit und Komplexität: „How can a protein fold itself properly in an instant, and how could functional proteins possibly have evolved in the brief span of life on Earth? Addressing such questions, we learn a lot about the physics of complexity.“ (Frauenfelder/Wolynes 1994). Interessante Aspekte hierzu werden auch im Artikel von Gething (1997) beschrieben.
 - 16 Vgl. hierzu Müller/Beugholt 1996 sowie Müller/Meyer 1996.
 - 17 Grundsätzlich besteht allerdings in speziellen Fällen – d. h. bei überlegter Wahl *verschiedener* Ausgangsprodukte – die Möglichkeit der gezielten Synthese von komplizierten Molekülen in Eintopfreaktionen (vgl. z. B. Dömling/Ugi 1993 sowie die Würdigung von Bradley 1993). Im angegebenen Fall erfolgt die Bildung des Reaktionsproduktes zu den in Lösung vorhandenen Ausgangsprodukten schrittweise. Bei der normalen, d. h. der häufigsten Vorgehensweise des Chemikers zur Synthese einer neuen Verbindung liegt entsprechend linearer Denkweise – basierend auf der Adaption des üblichen Ursache-Wirkungsprinzips – ein Plan zugrunde, der aufgrund einer Erfahrung aufgestellt wurde. Aus Edukten erfolgt – etwas vereinfacht ausgedrückt „unmittelbar“ – die Bildung von „gewollten“ Reaktionsprodukten.
 Durch diese Vorgehensweise wurde eine unglaubliche Vielfalt von z. T. interessanten und für die moderne Zivilisation wichtigen Verbindungen synthetisiert. Als Beispiel sei das Aspirin genannt, das der deutsche Chemiker Felix Hoffmann im August 1897 darstellte. Im aktuellen Buch von P. Ball (1994) lesen wir zur Bedeutung der Chemie: „Some of the most exciting scientific developments in recent years have come not from theoretical physicists, astronomers, or molecular biologists but instead from the chemistry lab. Chemists have created superconducting ceramics for brain scanners, designed liquid crystal flat screens for televisions and watch displays, and made fabrics that change color while you wear them. They have fashioned metals from plastics, drugs from crude oil, and have pinpointed the chemical pollutants affecting our atmosphere and are now searching for remedies for the imperiled planet.“ Über faszinierende moderne Entwicklungen der Chemie wird in interdisziplinärer Sichtweise auch in den folgenden Werken berichtet: Hoffmann 1995, Lehn 1995, Müller/Dress/Vögtle 1996.
 - 18 Im angegebenen Fall entsteht ein molekulares Gebilde, das, obwohl es *nur* aus Atomen der (schweren) Elemente Molybdän und Sauerstoff besteht, bemerkenswerterweise kein Symmetrieelement enthält. Der hier benutzte

- Begriff Symmetriebruch entspricht nicht dem, der sich z. B. beim Kristallisationsvorgang aus Lösungen auf das ganze System bezieht.
- 19 Lee und Holm bemerken z. B. zum Problem: „Zieht man die Launen der Natur beim Auffinden eines erfolgverheißenden Ausgangspunktes für die Clustersynthese in Betracht, ist festzustellen, daß die spontane Bildung eines Clusters in Lösung wie maßgeschneiderte Festkörpersynthese ist: sie funktioniert oder sie funktioniert nicht. Die Möglichkeiten einer gezielten Syntheseplanung sind sehr begrenzt.“ (Lee/Holm 1990). Im Hinblick auf die Grenzen dieser Aussage findet man Bemerkungen bei Müller 1991 sowie Müller/Reuter/Dillinger 1995.
- 20 Vgl. hierzu z.B. Tomalia 1995 sowie Coghlan 1996.
- 21 Hierzu seien bezüglich der Resonanz die folgenden Kommentare der Presse erwähnt: „Deutsche Chemiker entdeckten das Rad im Reagenzglas neu“, *Die Welt*, 1995, 27. Dezember; D. Bradley, 1995, „Big wheel rolls back the molecular frontier“, *New Scientist* 148, Nr. 2003, S. 18; G. Stoll, 1996, „Im Sog der Supramoleküle“, *Spektrum der Wissenschaft*, Heft 8, S. 62 sowie Titelblatt mit zugehörigem Text auf S. 4; C. Serain, J. Meyer, 1996, „L'Invention de la Roue Moléculaire“, *La Recherche*, Nr. 292, November, S. 32; M. Jamkowski, 1995, „Opona z molibdenu“, *Gazeta Wyborcza* (Polen), 17. November; „Großes Rad gedreht“, *Der Spiegel*, 1995, Nr. 47, S. 237; vgl. auch *Frankfurter Allgemeine Zeitung* (Natur und Wissenschaft), 1995, 22. November und *Süddeutsche Zeitung* (Umwelt, Wissenschaft, Technik), 1995, 7. Dezember.
- 22 Aristoteles hat als erster die grundsätzliche Bedeutung des korrelierten Begriffspaars erkannt. Aber dieses scheint auch heute noch von zentraler Bedeutung zu sein (vgl. hierzu Wolf, 1979 sowie Hartmann, 1966). Heidegger äußert sich in seiner Abhandlung, ARISTOTELES, METAPHYSIK Θ 1–3, Von Wesen und Wirklichkeit der Kraft (im Kapitel: Metaphysik Θ 1. DIE EINHEIT DES WESENS DER DYNAMIS KATA KINH Σ IN, DER AUF BEWEGUNG HIN VERSTANDENEN KRAFT, §7. Überlegungen zum Gang der ganzen Abhandlung über Dynamis und Energeia) wie folgt: „Die Abhandlung über Dynamis und Energeia bewegt sich in der Richtung der Leitfrage des Philosophierens: Was ist das Seiende als solches?“ (Ausgabe 1990, S. 49 (Band 33 der Gesamtausgabe)). Heidegger äußert sich übrigens auch im erwähnten Buch (S. 95) zum Thema unseres Aufsatzes: „Die wissenschaftliche Erkenntnis der Natur umfaßt dasjenige, was notwendig und allgemein von den Naturdingen ausgesagt werden muß; dieses Ausgesagte ist die Wahrheit über die Natur, d. h. das, was und wie die Natur in Wahrheit ist. Die Frage der möglichen wissenschaftlichen Erkennbarkeit der Natur ist in dieser Fassung zugleich die Frage nach dem wahren Sein des Seienden, das wir Natur nennen.“ Bei Höffe (1996) lesen wir: „[...] Aristoteles [führt] ein Begriffspaar ein, das das abendländische Denken weit stärker prägt als der Gegensatz Mangel-Form. Es ist der Gegensatz von *dynamis*, von Möglichkeit, Fähigkeit oder Potenz, und *energeia*, Verwirklichung, Wirklichkeit bzw. Akt“.
- 23 In der Frankfurter Rundschau (H. Schlatter, 1996, 30. März; Rubrik WISSENS-WERT) las man kürzlich zur Nichtvoraussagbarkeit des Geschehens

im Titel eines relevanten Aufsatzes „Sag niemals nie“ und weiter „Die wissenschaftliche Fachwelt, auf deren Urteil sich die Entscheidungsfindung der Politiker im wesentlichen stützt, sollte sich dieses zu Herzen nehmen. Allzuoft mußten in der Geschichte der Wissenschaft Lehrbuchweisheiten ergänzt oder fallengelassen werden. In diesem Sinne ist BSE nichts Neues, die Reaktionen einiger Verantwortlicher leider aber auch nicht.“ Bemerkenswert sind neueste Forschungsergebnisse (Telling et al. 1996), nach denen nicht nur die Art der räumlichen Struktur des (ursprünglichen) Prion-Proteins bestimmt, welche Krankheit entsteht. Bei Mäusen, denen verschiedene Extrakte von an der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit Gestorbenen injiziert wurden und bei denen die gesunden Prion-Proteine eine identische Aminosäuresequenz aufwiesen, entwickelten sich je nach übertragenem „kranken“ Prion unterschiedliche Strukturen. Hier liegt offensichtlich eine eindeutige Ursache-Wirkungs-Beziehung vor (zur Prionen-Problematik vgl. auch z. B. Weissmann 1996 sowie Edenhofer/Weiss/Winnacker/Famulok 1997).

- 24 Vgl. Mittasch (1948), Kapitel: Auslösungskausalität: ein vergessenes Kapitel Robert Mayer?, S. 386 und Kapitel: J. R. Mayers Begriff der Auslösung in seiner Bedeutung für die Chemie, S. 464 (vgl. hierzu auch Mittasch 1938). Nach R. Mayer ist Auslösung die Überführung der in einem materiell-energetischen System vorhandenen Energie aus dem Zustand der Potentialität in den der Aktualität, bzw. der diese Überführung verursachende Anlaß (vgl. hierzu Hoffmeister 1955 (Stichwort: Auslösung)).
- 25 Auch Lorenz benutzt den Begriff im Kontext zur Reaktion eines Organismus auf einen äußeren Reiz (Lorenz 1993, S. 67).
- 26 Vgl. Haken 1983 sowie Haken/Wunderlin 1991 mit Kritik an der Aussage von Prigogine, daß im Kontext Fluktuationen Ursache (d. h. nicht Auslöser) sind.
- 27 Vgl. hierzu Titel und Inhalt des eingangs zitierten Buches „Exploring Complexity“ von Nicolis/Prigogine 1989.
- 28 Dies gilt natürlich besonders für atomare Vorgänge. Heisenberg schreibt hierzu: „Was man aus der Beobachtung entnimmt, ist aber eine Wahrscheinlichkeitsfunktion, also ein mathematischer Ausdruck, der Aussagen vereinigt über ‚Möglichkeiten‘ oder ‚Tendenzen‘ mit Aussagen über unsere Kenntnis von Tatsachen. Daher können wir das Ergebnis einer Beobachtung nicht vollständig objektivieren.“ (Blum/Dürr/Rechenberg 1984).
- 29 Hierzu lesen wir bei Poincaré: „Nun haben wir aber jeden Tag ihren Einfluß [den der Wissenschaft] vor Augen. Das könnte nicht der Fall sein, wenn sie uns nicht etwas Reelles erkennen ließe; aber was sie erreichen kann, sind nicht die Dinge selbst, wie die naiven Dogmatiker meinen, sondern es sind einzig die Beziehungen zwischen den Dingen; außerhalb dieser Beziehungen gibt es keine erkennbare Wirklichkeit.“ (Poincaré 1914, S. XV (Einleitung)); vgl. auch das entsprechende sich auf Poincaré beziehende Zitat „[...] the sole objective reality consists in the relations of things.“ (Miller 1996).
- 30 Dies wird eindrucksvoll geschildert in einem Aufsatz von Busse/Mülsch (1996) mit dem ausdrucksvollen Titel, „Vom Umweltgift zum biologischen

Botenstoff: Die wundersame Karriere von Stickstoffmonoxid“ (vgl. auch die Angaben in Busse/Fleming 1995).

- 31 Selbst für die Erzeugung der Vielfalt der Millionen Antikörper beim Homo sapiens hat nach der klonalen Selektionstheorie der Zufall Pate gestanden. Wir wären ohne die angesprochene Vielfalt den Angriffen der feindlichen Welt ubiquitärer pathogener Keime wehrlos ausgesetzt.
- 32 Interessant ist in dem Zusammenhang die Bemerkung von Schrödinger: „Die physikalische Forschung hat [...] klipp und klar bewiesen, daß zum mindesten für die erdrückende Mehrzahl der Erscheinungsabläufe, deren Regelmäßigkeit und Beständigkeit zur Aufstellung des Postulates der allgemeinen Kausalität geführt haben, die gemeinsame Wurzel der beobachteten strengen Gesetzmäßigkeit – der *Zufall* ist.“ (Schrödinger 1967). Der stochastische Prozeß und darüber hinaus die Multidetermination spielt selbst bei bestimmten „einfachen“ Kristallisationsvorgängen eine entscheidende Rolle (vgl. Müller/Diemann/Hollmann/Ratajczak 1996). Grundsätzlich kann man zwischen als Folge eines in der Natur waltenden objektiven Zufalls und derjenigen als Folge unserer begrenzten Beschreibungsweise mikroskopischer Gebilde unterscheiden (vgl. auch Hörz 1980).
- 33 Hierzu lauschen wir einer interessanten Diskussion zwischen Philalethes und Theophilus entsprechend (Leibniz in: von Engelhardt/Holz 1996, Kapitel XXI, Über die Möglichkeit und die Freiheit, § I). *Philalethes*: Wenn der Geist beobachtet, wie ein Ding zu sein aufhört und wie ein anderes, das zuvor nicht war, zu existieren beginnt, und wenn er schließt, daß es auch in Zukunft Gleichartiges geben wird, hervorgebracht von gleichgearteten Wirkkräften, so wird er darauf aufmerksam, wie in einem Ding die Möglichkeit ist, daß eine seiner einfachen Ideen sich verändert, und in einem anderen Ding die Möglichkeit, diese Veränderung hervorzubringen. Dadurch bildet der Geist sich die Idee der Möglichkeit. *Theophilus*: Wenn (*reale*) Möglichkeit dem lateinischen *potentia* entspricht, so ist sie dem Akt entgegengesetzt, und der Übergang von der Möglichkeit zum Akt ist die *Veränderung*. Das versteht Aristoteles unter dem Wort *Bewegung*, wenn er sagt, sie sei der Akt oder vielleicht besser die *Verwirklichung* dessen, was in Möglichkeit ist. Man kann so sagen, daß die (*reale*) Möglichkeit im allgemeinen die Möglichkeit der Veränderung ist. Die Veränderung oder der Akt dieser Möglichkeit ist im einen Subjekt als Handlung, im anderen als Leiden; so gibt es auch zwei Formen der realen Möglichkeit, eine passive und eine aktive.
- 34 Zu dieser Thematik gibt es meiner Kenntnis nach keine zusammenfassende Abhandlung.
- 35 Vgl. Horgan 1995, sowie entsprechende Werke von Kauffman 1993 und 1995 (Übersetzung 1996).
- 36 In diesem Kontext sollten wir uns allerdings darüber im Klaren sein, daß der Übergang von einfachen materiellen Systemen über einfache Biomoleküle zu relevanten funktionalisierten Makromolekülen und letztendlich zur dissipativen Struktur, vor allem zum komplizierten, aber selbst auch zum einfachen Mikroorganismus, der unter Energieaufnahme bzw. Entropieexport im stationären Nichtgleichgewicht gehalten wird, „unvorstellbar“ lang und kompliziert war. (Entscheidend dabei ist, daß „Materie, die [...] durch

Energieaufwand, im Nichtgleichgewicht gehalten wird, [...] aber gänzlich andere Eigenschaften [hat] als Materie im Gleichgewicht.“ (Cramer 1989)).

Im Zusammenhang ist es interessant, einem fiktiven Gespräch zwischen d'Alembert, dem Physiologen Doktor Bordeu und der Freundin d'Alemberts, Fräulein von Lespinasse, zu lauschen, die sich über die von dem träumenden Mathematiker d'Alembert geäußerten Gedanken der Entwicklung der Materie bis hin zum Menschen unterhalten. Bordeu: „Zweifelloos ist die Tatsache selbst klar, aber durchaus nicht der Grund der Tatsache, vor allem nicht nach der Hypothese derjenigen, die nur eine Substanz annehmen und die Entstehung des Menschen oder des Tiers überhaupt aus dem Zusammenkommen mehrerer empfindlicher Moleküle erklären. Jedes empfindliche Molekül hatte sein Ich vor dem Zusammenkommen.“ Fräulein von Lespinasse: „Mir scheint, die bloße unmittelbare Berührung genügt schon.“ (D. Diderot, Dialog Zweiter Teil, D'Alemberts Traum [Le Rêve de d'Alembert]), vgl. Diderot 1967). In diesem Kontext ist der moderne Titel des Buches von Goodsell (1996) interessant: *Our Molecular Nature: The Body's Motors, Machines and Messages*.

37 Die zentrale Rolle des Zufalls betont auch der Geologe und Paläontologe S. Gould (1994).

38 Vgl. hierzu die Ausgabe von L. Couturat (1966).

Literatur

- Anzenbacher, A., 1992, *Einführung in die Philosophie*, Herder, Freiburg, 87.
- Ball, P., 1994, *Designing the Molecular World: Chemistry at the Frontier*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Baxter, P., Lehn, J.-M., DeCian, A. u. Fischer, J., 1993, „Selbstorganisation von Multikomponentensystemen: spontane Bildung eines zylinderförmigen Komplexes aus fünf Liganden und sechs Metall-Ionen“, *Angewandte Chemie*, 105, 92.
- Bloch, E., 1985, *Das Materialismusproblem, seine Geschichte und Substanz* (Werkausgabe, Bd. 7), Suhrkamp, Frankfurt am Main, 152–164.
- Blum, W., Dürr, H.-P. u. Rechenberg, H. (Hg.), 1984, „Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie“ in: *Werner Heisenberg, Gesammelte Werke, Abt. C, Band II, Physik und Erkenntnis 1956–1968*, Piper, München, 34.
- Bradley, D., 1993, „Record-breaking reaction that has gone to pot“, *New Scientist*, 139, Nr. 1880, 16.
- Buchheim, T., 1994, *Die Vorsokratiker*, Beck, München.
- Busse, R. u. Mülsch, A., 1996, „Vom Umweltgift zum biologischen Botenstoff: Die wundersame Karriere von Stickstoffmonoxid“, *Wissenschaftsmagazin der Johann Wolfgang Goethe-Universität*, Frankfurt am Main, Heft 4, 5.
- Busse, R. u. Fleming, I., 1995, „Regulation and functional consequences of endothelial nitric oxide formation“, *Ann. Med.*, 27, 331.

- Coghlan, A., 1996, „Self-building molecule wins place in the record books“, *New Scientist*, 149, Nr. 2019, 17.
- Couturat, L. (Hg.), 1966, *Opuscles et fragments inédits de Leibniz*, Olms, Hildesheim, 534.
- Cram, D. J. u. Cram, J. M., 1994, *Container Molecules and Their Guests*, Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Cramer, F., 1989, *Chaos und Ordnung: Die komplexe Struktur des Lebendigen*, DVA, Stuttgart, 59.
- Diderot, D., 1967, *Philosophische Schriften*, Bd. 1 (T. Lücke, Hg.), Europäische Verlagsanstalt, Frankfurt am Main, 536.
- Dömling, A. u. Ugi, I., 1993, „Die Siebenkomponentenreaktion“, *Angewandte Chemie*, 105, 634.
- Edenhofer, F., Weiss, S., Winnacker, E.-L. u. Famulok, M., 1997, „Chemie und Molekularbiologie der übertragbaren spongiformen Encephalopathien“, *Angewandte Chemie*, 109, 1748.
- von Engelhardt, D., 1976, *Hegel und die Chemie: Studie zur Philosophie und Wissenschaft der Natur um 1800*, Pressler, Wiesbaden.
- von Engelhardt, W. u. Holz, H. H. (Übers. und Hg.), 1996, *G. W. Leibniz, Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand I, Philosophische Schriften*, Band 3.1, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 241.
- Fink, E., 1985, *Grundfragen der antiken Philosophie* (F.-A. Schwarz, Hg.), Königshausen + Neumann, Würzburg, 173.
- Frauenfelder, H. u. Wolynes, P. G., 1994, „Biomolecules: Where the physics of complexity and simplicity meet“, *Physics Today*, February, 58.
- Gething, M.-J., 1997, „Protein folding: The difference with prokaryotes“, *Nature: News and Views*, 388, 329.
- Goodsell, D. S., 1996, *Our Molecular Nature: The Body's Motors, Machines and Messages*, Copernicus/Springer, New York.
- Gould, S. J., 1994, *Zufall Mensch, Das Wunder des Lebens als Spiel der Natur*, dtv, München.
- Haken, H., 1983, *Synergetics: An Introduction*, Springer, Berlin.
- 1995, *Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken*, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 112.
- Haken, H. u. Wunderlin, A., 1991, *Die Selbststrukturierung der Materie: Synergetik in der unbelebten Welt*, Vieweg, Braunschweig, 446.
- Hartmann, N., 1966, *Möglichkeit und Wirklichkeit*, de Gruyter, Berlin.
- Hegel, G. W. F., 1970, *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften II*, Werke 9, Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Heidegger, M., 1990, *ARISTOTELES, METAPHYSIK Θ 1–3: Von Wesen und Wirklichkeit der Kraft*, Klostermann, Frankfurt am Main.
- 1994, *Holzwege*, Klostermann, Frankfurt am Main, 11.
- Höffe, O., 1996, *Aristoteles*, Beck, München, 106.
- Hörz, H., 1980, *Zufall – Eine philosophische Untersuchung*, Akademie-Verlag, Berlin.
- Hoffmann, R., 1995, *The Same and Not the Same*, Columbia University Press, New York.

- Hoffmeister, J. (Hg.), 1955, *Wörterbuch der philosophischen Begriffe*, Meiner, Hamburg.
- Holz, H. H., 1990, „Möglichkeit“ in: *Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften* (H. J. Sandkühler, Hg.), Meiner, Hamburg.
- Horgan, J., 1995, „Komplexität in der Krise“, *Spektrum der Wissenschaft*, Heft 9, 58.
- Kahn, C. H., 1995, *The art and thought of Heraclitus*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kanitscheider, B., 1988, „Wissenschaftstheorie und Naturphilosophie: Zur Typisierung zweier Arten von Wissenschaftsphilosophie“, *Philosophia Naturalis*, 25, 346.
- Karplus, M., Šali, A. u. Shakhnovich, E., 1995, „Kinetics of protein folding“, *Nature*, 373, 664.
- Kauffman, S. A., 1993, *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, New York.
- 1995, *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organisation and Complexity*, Oxford University Press, New York.
- 1996, *Der Öltropfen im Wasser: Chaos, Komplexität, Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*, Piper, München.
- Kirk, G. S., 1987, *Griechische Mythen*, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.
- Kirk, G. S., Raven, J. E. u. Schofield, M., 1994, *Die Vorsokratischen Philosophen*, Metzler, Stuttgart.
- Lee, S. C., u. Holm, R. H., 1990, „Nichtmolekulare Metallchalcogenid/halogenid-Festkörperverbindungen und ihre molekularen Cluster-Analoga“, *Angewandte Chemie*, 102, 868.
- Lehn, J.-M., 1995, *Supramolecular Chemistry: Concepts and Perspectives*, VCH, Weinheim.
- Leibniz, G. W., 1990, *Philosophische Schriften* (W. Wiater, Hg.), Band V, Zweite Hälfte, Französisch/Deutsch (Briefe von besonderem philosophischen Interesse), Insel, Frankfurt am Main, 213.
- Lorenz, K., 1993, *Die Rückseite des Spiegels*, dtv, München.
- Lowenstam, H. A. u. Weiner, S., 1989, *On Biomineralization*, Oxford University Press, Oxford.
- Mainzer, K., 1997, *Thinking in Complexity: The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind*, Springer, Berlin.
- Mann, S., 1986, „Biomineralisation: Ein neuer Zweig der bioanorganischen Chemie“, *Chemie in unserer Zeit*, 20, 69.
- Mann, S. (Hg.), 1996, *Biomimetic Materials Chemistry*, VCH, New York.
- Mansfeld, J., 1991 (Übers. und Erläut.), *Die Vorsokratiker I: Milesier, Pythagoreer, Xenophanes, Heraklit, Parmenides* (Griechisch/Deutsch), Reclam, Stuttgart.
- Müller, A. I., 1996, *Insights of Genius: Imagery and Creativity in Science and Art*, Copernicus/Springer, New York, 132.
- Mittasch, A., 1938, *Katalyse und Determinismus: Ein Beitrag zur Philosophie der Chemie*, Springer, Berlin.
- 1948, *Von der Chemie zur Philosophie*, Ebner, Ulm.
- Müller, A., 1991, „Induced molecule self-organization“, *Nature*, 352, 115.

- 1992, „Neue Rezepte für eine ‚sinnvolle‘ Forschung?“, *Gaia*, 1, 190.
- 1994, „Supramolecular inorganic species: An expedition into a fascinating, rather unknown land mesoscopia with interdisciplinary expectations and discoveries“, *Journal of Molecular Structure* 325, 13.
- Müller, A., Reuter, H. u. Dillinger, S., 1995, „Supramolekulare Anorganische Chemie: von Gästen in kleinen und großen Wirten“, *Angewandte Chemie*, 107, 2505.
- Müller, A., Dress, A. u. Vögtle, F. (Hg.), 1996, *From Simplicity to Complexity in Chemistry – and Beyond, Part I*, Vieweg, Braunschweig.
- Müller, A. u. Beugholt, C., 1996, „Supramolecular Chemistry: The medium is the message“, *Nature*, 383, 296.
- Müller, A., Diemann, E., Hollmann, B. u. Ratajczak, H., 1996, „Visualizing Simultaneous Stochastic Microevents Macroscopically: Nucleation Processes with Large Ions Leading to Ionic Crystals“, *Naturwissenschaften*, 83, 321.
- Müller, A. u. Meyer, J., 1996, „Ungewöhnliche Riesenmoleküle: Ordnung und Komplexität im Bereich zwischen Mikro- und Makrokosmos“, *Forschung an der Universität Bielefeld*, Heft 14, 2.
- Müller et al., A., 1998, „Unusual stepwise assembly and molecular growth: $[H_{14}Mo_{37}O_{112}]^{14-}$ and $[H_3Mo_{57}V_6(NO)_6O_{189}(H_2O)_{12}(MoO)_6]^{21-}$ “, *Chemistry, A European Journal*, Heft 6, 1998.
- Nicolaou, K. C. u. Sorensen, E. J., 1996, *Classics in Total Synthesis: Targets, Strategies, Methods*, VCH, Weinheim, 731.
- Nicolis, G. u. Prigogine, I., 1989, *Exploring Complexity*, Freeman, New York.
- Paslack, R., 1996, „Vom Mythos zum Logos: Chaos und Selbstorganisation bei den Griechen“, in: *Chaos und Ordnung* (G. Küppers, Hg.), Reclam, Stuttgart.
- Petry, M. J. (Hg.), 1987, *Hegel und die Naturwissenschaften*, frommann-holzboog, Stuttgart.
- Pleger, W. H., 1991, *Die Vorsokratiker*, Metzler, Stuttgart.
- Poincaré, H., 1914, *Wissenschaft und Hypothese*, Teubner, Leipzig.
- Prigogine, I., 1979, *Vom Sein zum Werden: Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften*, Piper, München.
- 1995, *Die Gesetze des Chaos*, Campus, Frankfurt am Main.
- Prigogine, I. u. Stengers, I., 1990, *Dialog mit der Natur: Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens*, Piper, München.
- 1993, *Das Paradox der Zeit: Zeit, Chaos und Quanten*, Piper, München.
- Primas, H., 1983, *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism*, Springer, Berlin.
- 1985, „Kann Chemie auf Physik reduziert werden?“, *Chemie in unserer Zeit*, 19, 109 und 160.
- Psarros, N., Ruthenberg, K. u. Schummer, J. (Hg.), 1996, *Philosophie der Chemie: Bestandsaufnahme und Ausblick*, Königshausen & Neumann, Würzburg.
- Rieger, J., 1995, „Wie sich Proteine falten – Das Levinthalsche Paradoxon / Übergangszustand verhindert Irrwege“, *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 17.5.
- Schrödinger, E., 1967, *Was ist ein Naturgesetz? Beiträge zum naturwissenschaftlichen Weltbild*, Oldenbourg, München, 10.

- Snell, B. (Hg.), 1944, *Die Fragmente des Heraklit* (Griechisch/Deutsch), Heimeran, 49.
- Stern, K. u. McClintock, M. K., 1998, „Regulation of ovulation by human pheromones“, *Nature*, 392, 177.
- Stöckler, M., 1989, „Was kann man heute unter Naturphilosophie verstehen?“, *Philosophia Naturalis*, 26, 1.
- Stoll, G., 1996, „Im Sog der Supramoleküle“, *Spektrum der Wissenschaft*, Heft 8, 62.
- Telling, et al., G. C., 1996, „Evidence for the Conformation of the Pathologic Isoform of the Prion Protein Enciphering and Propagating Prion Diversity“, *Science*, 274, 2079.
- Tomalia, D. A., 1995, „Dendrimere“, *Spektrum der Wissenschaft*, Heft 9, 42.
- Vögtle, F., 1992, *Supramolekulare Chemie*, Teubner, Stuttgart, 45.
- Weissmann, C., 1996, „Prionen: Neuartige Krankheitserreger“, *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 49, Heft 6, 211.
- Weller, A., 1998, „Human pheromones: Communication through body odour“, *Nature*, 392, 126.
- Wolf, U., 1979, *Möglichkeit und Notwendigkeit bei Aristoteles und heute*, Fink, München.
- Wolynes, P. G., Onuchic, J. N. u. Thirumalai, D., 1995, „Perspectives: Navigating the Folding Routes“, *Science*, 267, 1619.

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. Dr. h. c. Achim Müller
Lehrstuhl für Anorganische Chemie I
Fakultät für Chemie
Universität Bielefeld
Postfach 100 131
D-33501 Bielefeld