

SONDERDRUCK AUS:

# *Philosophia naturalis*

Band 37 (2000) Heft 2

WAS SIND UND WARUM GELTEN  
NATURGESETZE?

Herausgegeben von Peter Mittelstaedt  
und Gerhard Vollmer



VITTORIO KLOSTERMANN · FRANKFURT AM MAIN

Achim Müller

## Naturgesetzmäßigkeiten – Chemie lediglich ein Bereich zwischen Physik und biologischem Geschehen?

„[...] lex naturalis nihil aliud est quam participatio legis aeternae in rationali creatura [...]“  
Thomas von Aquin

### 1. Einleitung

„Während sich in der Chemie die Begriffsbestimmung für Naturgesetze entweder wie in der Physik stellt oder unerheblich ist, gibt es in der Biologie, z. B. im Kontext der Mechanismus-Vitalismus- oder der Holismus-Debatte, eine Kontroverse darüber, ob für den Bereich des Organischen noch andere als die physikalisch-chemischen Naturgesetze maßgeblich sind [...].“ (Mittelstraß, 1984)

Dieser Aussage, zu finden in der „*Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*“ (Mittelstraß, 1984) unter dem Stichwort Naturgesetz, kann ich nicht zustimmen. Meines Erachtens kommt der Chemie, d. h. der Untersuchung der *Veränderungen* materieller Systeme, im Zusammenhang mit dem Verständnis unserer Welt eine zentrale Rolle zu. Den sensiblen Beobachter fasziniert nichts mehr als hinter das Geheimnis der Vielfalt der Erscheinungsformen zu blicken – und nicht nur der Biosphäre<sup>1</sup> – und seine Rolle im Wahrnehmungs- und Erkenntnisprozeß zu verstehen, die ihrerseits wiederum auf der Basis von Veränderungen materieller Systeme in ihm selbst erfolgt. Auf beiden Ebenen, der des Objekts und der des Subjekts, sind es Veränderungen komplexer materieller Systeme, die „die Chemie“ – bzw. der Chemiker als Naturforscher – untersucht.<sup>1</sup>

Die Chemie beschäftigt sich mit der Qualität und den Gesetzmäßigkeiten des Aufbaus materieller Systeme und mit deren Veränderungen bzw. Umwandlungen, die auf einer Änderung der Konnektivität der beteiligten Grundeinheiten basieren. Sie stellt die Gesamtheit von Analysen und Konstruktionen von materiellen Systemen einschließlich industrieller Gestaltungen unter Einbeziehung theoretischer Erklärungen dar.

Ihre Gesetze beziehen sich einerseits auf die Art der Zusammensetzung der Substanzen und andererseits auf deren Veränderungen, wobei zwischen Prozessen in (ab)geschlossenen<sup>2</sup> und in offenen Systemen streng zu unterscheiden ist. Primär stellt sich hier das Reduktionsproblem<sup>3</sup> – aber auch die Frage, was wir von einem Naturgesetz erwarten, z. B. ob es Prognosen erlauben muß.<sup>4</sup>

Es gibt Gesetze in der Chemie, die physikalisch erklärt werden können. Das zeigt die Nähe zur Physik. Auf der anderen Seite gibt es aber auch Parallelen zwischen den Vorgängen in extrem komplexen chemischen Systemen und denen in biologischen Prozessen. Während es zu philosophischen und erkenntnistheoretischen Problemen der Physik und Biologie eine umfangreiche Literatur gibt, fehlt diese – trotz einiger neuer, leider vor allem konstruktivistischer Ansätze – weitestgehend für die Chemie (vgl. Schummer, 1996). Das gilt vor allem hinsichtlich einer Analyse der entsprechenden Naturgesetze. Es geht mir hier um Überlegungen, ob bezüglich jener Strukturen chemischer Systeme, für die eine (relative) Selbständigkeit komplexer Stoffumwandlungen kennzeichnend ist, nicht auch spezifische Systembeziehungen gesucht und gefunden werden müßten.

Im Bereich der klassischen Physik haben wir es in der Regel mit reproduzierbaren und prognostizierbaren Prozessen zu tun, so daß man bei Physikern wenigstens hier hinsichtlich des Status von Gesetzen weitgehende Akzeptanz findet. Der Status biologischer Gesetze dagegen wird oft stark kontrovers diskutiert (besonders bezüglich des Verhältnisses zwischen Kausal- und Funktionsanalyse einerseits und der Problematik von Teleonomie und Teleologie andererseits (Bartels, 1996). Schließlich sind Prognosen über die Zukunft eines Organismus im biologischen Geschehen in der Tat problematisch.<sup>5</sup>

## 2. Sein und Werden materieller Systeme

I. Die Massenverhältnisse zweier sich zu verschiedenen chemischen (eindeutig definierten) Verbindungen vereinigenden Elemente stehen in Verhältnis einfacher ganzer Zahlen zueinander.

(Gesetz der multiplen Proportionen von John Dalton, 1766–1844).  
(Holleman, Wiberg, 1995)

II. In einem abgeschlossenen System läuft eine Reaktion ohne (kinetische) Hemmung so lange ab, bis es zum Ausgleich zwischen den chemischen Potentialen der Ausgangs- und Reaktionsprodukte kommt.<sup>6</sup> (Jost/Troe, 1973)

So lauten die beiden zentralen Naturgesetze der Chemie, die sich auf die Zusammensetzung von Stoffen und ihre Veränderungen beziehen.

Das Ingangsetzen einer gehemmten chemischen Reaktion – z. B. durch einen Katalysator – entspricht, bildlich gesprochen, einem Prozeß, der nach Öffnen einer Schleuse (als Inhibitor) abläuft. Die Reaktion kann zum Stillstand kommen, wenn das Minimum der Enthalpie (bzw. Energie) erreicht ist; in bestimmten Fällen gibt es aber auch noch Nebenminima, die metastabilen Zuständen entsprechen. Im Gegensatz zu den angegebenen Fällen (Gleichgewichtsnähe) können fernab vom Gleichgewicht im allgemeinen auch mehrere stationäre Nichtgleichgewichtszustände in offenen Systemen existieren. Dabei kann durch Entropieexport für längere Zeit ein makroskopisch konstanter Zustand (Homöostase) aufrecht erhalten werden.

Zu ergänzen wäre noch, daß selbst das oben beschriebene thermodynamische Gleichgewicht nur relativ stabil ist, d.h. nur unter den zugrundeliegenden Systembedingungen. Das Hinzufügen eines anderen Stoffes kann die Situation grundsätzlich verändern. Diese philosophisch interessanten (temporären) Gleichgewichte bzw. Gleichgewichtsinselformen ermöglichen eine Ausdifferenzierung der Materie. Sie sind Voraussetzung für die Existenz jeglichen Lebens, schließlich auch für die Beobachtbarkeit unserer Welt.

Chemischen bzw. materiellen Systemen lassen sich – philosophisch gesprochen – im Hinblick auf mögliche Veränderungsprozesse Propensitäten (Verwirklichungstendenzen) zuordnen, die im Prinzip mit dem aristotelischen Begriffspaar Potentialität und Aktualität (*Dynamis* und *Energeia*) erfaßt werden können. Es handelt sich um Begriffe, die formal mit Größen der Thermodynamik korrelierbar sind.

Beide oben angegebenen Gesetze lassen sich mit den Erkenntnissen der Physik begründen, d. h. mit der *Wärmelehre* und der *Quantentheorie* (vgl. den Titel von Hund, 1966); sie liefern vor allem für einfache (nicht komplexe) chemische Systeme nützliche Resultate.

### 3. Zur Prognostizierbarkeit chemischer Prozesse

In der Chemie gibt es Prozesse, die *im Sinne der beiden oben genannten Naturgesetze* beliebig oft reproduzierbar sind und zu eindeutig definierten Stoffen führen. Das ist z.B. bei der Herstellung zahlreicher und für die Gesellschaft wichtiger Produkte der Fall. Hierbei geht es um Prozesse, die unter gleichen Bedingungen ablaufen. Das ist allerdings nur eine Seite der Chemie.

Die andere Seite zeigt eine, vielleicht genuine, Parallelität zu Aspekten im biologischen Geschehen. In bestimmten Systemen sind Reaktionsabläufe hinsichtlich ihrer möglichen Vielfalt nicht prognostizierbar: Wir sind nicht in der Lage, die Strukturen *aller* (möglichen) Produkte vorauszusagen, die z.B. durch Verknüpfung von einfachen Fragmenten in komplexen Reaktionssystemen entstehen können. Allerdings finden wir hierdurch Wege, auf denen Neuartiges, zunehmende Komplexität und auch Multifunktionalität der Reaktionsprodukte auftreten – selbst in (ab)geschlossenen Systemen, d.h. unter nichtdissipativen Bedingungen. Dabei werden vom Chemiker durch die Wahl spezieller Rand- bzw. Reaktionsbedingungen entsprechende Potentialitäten – im Sinne von dispositionellen Eigenschaften – gleichsam „geweckt“. (Müller/Kögerler/Kuhlmann, 1999; Müller et al., 1998) Ein Beispiel dafür ist die Bildung unserer molekularen „*Bielefelder Riesenräder und Riesenkugeln*“ (Abb.1) aus dem Bereich der Polyoxometallat-Chemie (Müller/Kögerler/Kuhlmann, 1999; Müller/Kögerler/Bögge, 2000), die man ohne weiteres ästhetisch nennen kann. (Müller, 1999)

Betrachten wir nun die beiden Seiten der Chemie, d. h. die beiden Reaktionstypen, die sich auf (ab)geschlossene Systeme beziehen, etwas detaillierter.

(a) *Die geplante und beliebig wiederholbare Synthese eines Produktes* – z. B. von Aspirin – erfolgt nach dem Gesetz, nach dem eine Wirkung als notwendige Folge einer Ursache oder auch als Folge eines Kausalgeflech-

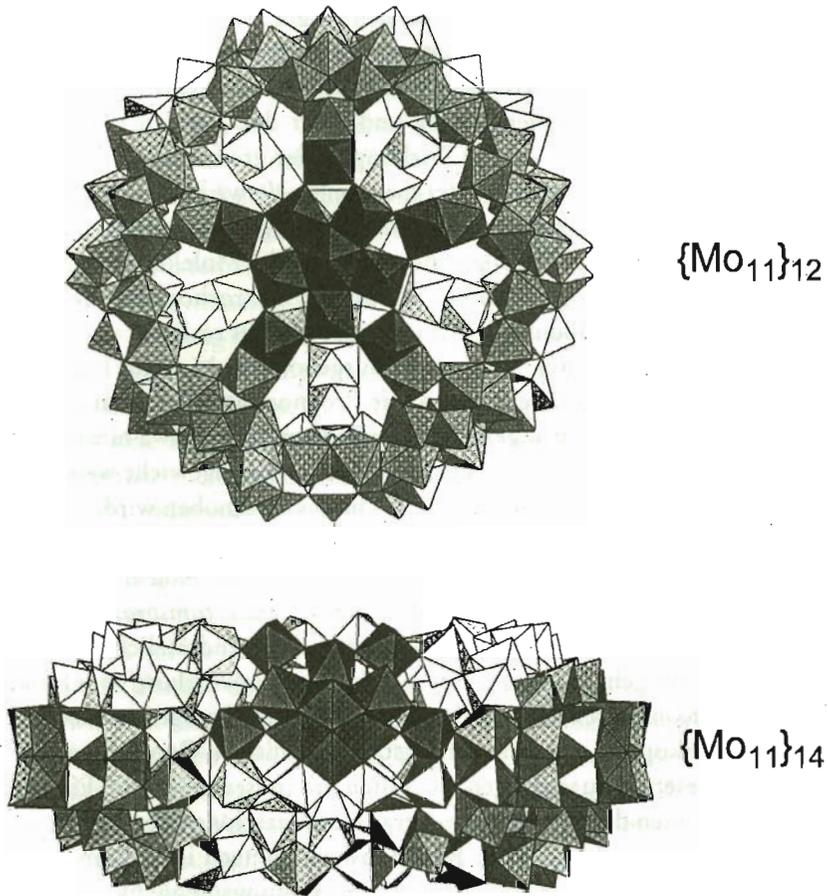
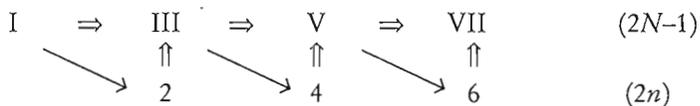


Abbildung 1. Strukturvergleich der ästhetisch schönen, aus Metall- und Sauerstoffatomen bestehenden, ring- und kugelförmigen Riesenzymoleküle der Typen  $[Mo_{11}]_{14}$  (Ring in Seitenansicht) und  $[Mo_{11}]_{12}$  (vgl. hierzu auch den DFG-Kalender 2000 (Ästhetik) mit hervorgehobenen ähnlichen  $[Mo_{11}]$ -Baueinheiten, die entweder  $C_5$ - oder  $C_2$ -Symmetrie aufweisen und weltweit für Aufsehen gesorgt haben. Welche dieser beiden Einheiten und Endprodukte entsteht, hängt – im Kontext mit den Ausführungen im Text zur Empfindlichkeit komplexer Reaktionsgemische – von geringfügigen Änderungen der Reaktionsbedingungen ab.

tes eintritt. Im genannten Fall bildet sich aufgrund der vom Experimentator gewählten Bedingungen auf makroskopischer Ebene notwendigerweise das Reaktionsprodukt Aspirin in reiner kristalliner Form mit immer gleicher Zusammensetzung und – für den Patienten wichtig – identischer pharmakologischer Wirkung. (Hier greifen die Naturgesetze I und II.) Wir haben es mit der materiellen Verwirklichung einer Systemmöglichkeit unter ganz bestimmten Bedingungen zu tun. Hierbei muß sich allerdings im Mikrogesehen nicht jedes Molekül im Sinne der gewünschten Reaktion verhalten, obwohl die makroskopische Systemveränderung durch Bildung des Reaktionsproduktes realisiert wird (Jost/Troe, 1973). Für ein hypothetisch herausgehobenes Molekül folgt, daß wir über sein Reaktionsverhalten keine Prognose erstellen können. Der Chemiker wird aber im allgemeinen die Bedingungen – etwa hinsichtlich Temperatur und Druck – so wählen, daß das Gleichgewicht weitestgehend auf die Seite des gewünschten Produktes verschoben wird.

(b) *Reaktionsabläufe in komplexen Systemen – z. B. bei molekularen Kaskaden mit Rückkopplungseffekten, bzw. bei Wachstumsprozessen mit Symmetriebrüchen* – sind vom Reaktionstyp (a) grundsätzlich zu unterscheiden. Hier geht es um eine Art molekularer Entwicklung vom Einfachen zum Komplexen, die im allgemeinen keine eindeutige Prognose des sich makroskopisch einstellenden Zustands zuläßt. (N. Goodman schlägt vor, von Gesetzen zu verlangen, sie sollten Prognosen erlauben.) Eine der Schwierigkeiten der Prognose bei derartigen Reaktionen liegt darin, daß geringfügige Änderungen der Reaktionsbedingungen in Systemen, die sich durch eine extreme Vielfalt von Verknüpfungsmöglichkeiten auszeichnen, zu anderen Prozeßabfolgen führen können – auch für den Fall von virtuellen, d.h. unter bestimmten Bedingungen „abrufbaren“ Baueinheiten (Müller et al., 1998; Müller/Shah/Bögge/Schmidtman, 1999). Experimente dieses Typus liefern Anhaltspunkte dafür, daß bei der Wahl spezieller Systembedingungen in einem Wachstums- bzw. „Reifungs/Entwicklungsprozeß“ stufenweise, aber eben nicht unbedingt prognostizierbar, molekulare Komplexität entstehen kann.

Dies gilt speziell für Reaktionen nach folgendem Schema:



Die angeführten römischen Zahlen ( $2N-1$ ) beziehen sich auf eine Serie von „Reifungsprozessen“ eines molekularen Systems. Die arabischen Zahlen ( $2n$ ) stehen für Bestandteile des Reaktionsgemisches, die ausschließlich mit nur einem Zwischenprodukt  $2N-1$  reagieren. Entscheidend ist hierbei das Vorliegen eines (konservativen) Selbstorganisationsprozesses mit Rückkopplung, bei dem die intermediär auftretende Spezies  $2n$  durch die „inhärente Information“ gebildet werden, die in den Zwischenprodukten  $2N-1$  enthalten ist. Das bedeutet konkret: Das Intermediat  $2N-1$  induziert als Templat (Matrix) aus den Produkten der Lösung die Bildung des Intermediates  $2n$ , mit dem es dann selbst eine Reaktion eingeht. Das Endprodukt des Wachstumsprozesses ist ein Zielmolekül (hier VII). Es handelt sich um einen Prozeß in Gleichgewichtsnähe, der eine Folge von „molekularen Symmetriebrüchen“ aufweisen kann, der aber eben in Details, wie hinsichtlich des Ziel- oder Endprodukts, nicht zwingend prognostizierbar ist.

Wegen der Unerschöpflichkeit der Materie sind wir heute noch nicht annähernd in der Lage, die Gesamtheit aller ihrer materiellen Erscheinungsformen – d.h. die Resultate aller möglichen entsprechenden Prozesse – auch nur zu erahnen. Selbst ein hochintelligentes Wesen wäre auf der Urerde nicht in der Lage gewesen, die Herausbildung der heutigen Formenvielfalt vorauszusagen – speziell der Artenvielfalt, die letztlich aus den relativ wenigen verschiedenen Teilchen des primordialen „Chemiebestandes“ entstanden ist. Der Grund liegt nicht allein in der Zahl von unerschöpflichen Verknüpfungsmöglichkeiten elementarer Bausteine bzw. Baugruppen, er liegt auch in der Wirkung des Zufalls, der offensichtlich ein intrinsisches Phänomen unserer Welt darstellt (Hörz, 1980) und die unermeßliche Reichhaltigkeit der Natur mitbestimmt.

Ein entsprechendes Naturgesetz, das sich auf die Ausbildung der Formenvielfalt höherer Komplexität bezieht, ist uns nicht bekannt. Der detaillierten Beschreibung bzw. Voraussage sind Grenzen gesetzt, die nicht im Grundsätzlichen, sondern in der Komplexität des Problems liegen. Das gilt natürlich erst recht für die offenen Systeme. Die Aussage von Helmholtz, „*Die seienden Dinge verändern sich, aber wir suchen Gesetze für diese Veränderungen*“, könnte und sollte natürlich nicht zuletzt auch für den Chemiker Ansporn sein, über ein Entwicklungsgesetz für prozesshaft gerichtete Veränderung zu höherer Komplexität nachzudenken.

#### 4. Dissipative (offene) Systeme in der Natur und im Labor und ihre Gesetzmäßigkeiten: Entstehen von Strukturen mit Kohärenz über makroskopische Distanzen

Die oben angesprochenen und zur Zeit (leider) fast ausschließlich von Chemikern untersuchten Reaktionen beziehen sich auf (ab)geschlossene Systeme und führen zu konservativen Strukturen, für die die Naturgesetze I und II gelten. Für die Bildung dissipativer makroskopischer Strukturen unter speziellen definierten Randbedingungen gibt es Erkenntnisse aufgrund neuerer und inzwischen allseits bekannter Arbeiten vor allem von Prigogine und Haken. Bei diesen Systemen verhindert ständiger Materialaustausch und/oder Energiezufuhr den Ausgleich der oben erwähnten chemischen Potentiale, so daß nicht Gleichgewichts-, sondern stationäre Nichtgleichgewichtszustände (Homöostase) resultieren: *Materie in dissipativen Systemen hat andere Eigenschaften als Materie in (ab)geschlossenen Systemen.* (Auch das ist eine Naturgesetzlichkeit.)

In diesem Zusammenhang ist der Vergleich dissipativer chemischer Systeme mit biologischen Systemen von besonderem Interesse.<sup>7</sup>

Während im (ab)geschlossenen System das Gleichgewicht global stabil ist und für die Überschußentropie im Kontext mit dem 2. Hauptsatz  $\Delta S = S - S_{\text{glei}} \geq 0$  gilt, ist im offenen System das Vorzeichen der Entropievariation nicht mehr festgelegt. Hier existieren zwei Entropie-Beiträge:  $\Delta S_e$  (Entropiefluß) und  $\Delta S_i$  (Entropieproduktion) (Kondepudi/Prigogine, 1999; Nicolis/Prigogine, 1987).

Wegen der Komplexität der Erscheinungen gibt es nun keine präzisierenden, d. h. das Detailgeschehen beschreibenden Gesetze für stationäre Nichtgleichgewichtszustände der Biosphäre, bis auf die Tatsache, daß die entsprechenden Strukturen nur unter Entropieexport aufrecht erhalten werden können. (Entropieerhöhung aufgrund von Energiezufuhr würde zur Zerstörung von Strukturen führen.)

Die Dynamik einfacher dissipativer Systeme läßt sich durch makroskopische Ordnungsparameter ausdrücken, die sich auf gemittelte Größen der Teilchendynamik beziehen. *Das Gesamtverhalten eines dissipativen Systems – vor allem auch eines lebenden – beruht allerdings in komplexer Weise auf nichtlinearen Wechselwirkungen seiner Konstituenten. Letztere führen aufgrund von synergetischen Effekten in Selbstorganisationsprozessen zu Gestaltbildung bzw. makroskopischer Kohärenz. Hierbei entsteht Ordnung durch eine Art Phasenübergang.* Diese Aussage stellt den

allgemeinen Rahmen für dissipative und speziell auch für lebende Systeme dar. Dabei wird auf strukturelle und funktionelle Details kein Bezug genommen, deren unermeßliche Variationsbreite durch die unerschöpflichen Wechselwirkungen in materiellen (biologischen) Systemen bestimmt ist, eine Variationsbreite, die für die Vielfalt der Erscheinungsformen der Natur sorgt.

Ich lege nun folgende Charakterisierung zugrunde: *Ein lebendes (extrem komplexes, materielles und – eingeschränkt – offenes) System ist aufgrund komplexer interner wechselwirkender Prozesse in der Lage, gegenüber seiner Außenwelt Verhaltensmuster zu zeigen, die Arterhalt in sehr vielschichtiger Weise zumindest für einen bestimmten Zeitraum ermöglichen.* Diese Definition schließt sowohl das Aussterben des Individuums als auch der Art mit ein, nicht aber das Entstehen neuer Arten als Folge von Mutationen (Fluktuationen).

Die Morphogenese eines Organismus beruht nicht nur auf einer Folge von informationsgesteuerten, nur unter dissipativen Bedingungen möglichen Reaktionen,<sup>8</sup> sondern auch auf konservativen Selbstaggregationsprozessen (genetisch kodierte Selbstorganisation). Zur optimal angepaßten Wechselwirkung mit seiner Außenwelt bedarf es einer semi-permeablen Trennwand sowie zahlreicher komplexer, optimal miteinander gekoppelter chemischer Prozesse geeigneter Qualität zur richtigen Zeit am richtigen Ort. Diese Prozesse können zwar keine Homöostase garantieren, jedoch für bestimmte Zeiträume relative Konstanz – dies allerdings nur bei Ausschluß von Extremeingriffen, wobei die Bandbreite von möglichen Abweichungen nicht prognostiziert werden kann.

Es gibt zumindest eine formale Parallele zwischen komplexen dissipativen materiellen (chemischen) Systemen, die infolge Autokatalyse und Rückkopplung durch Nichtlinearität **gekennzeichnet** sind, und lebenden Systemen. Bei beiden Systemtypen sind exakte Prognosen nicht immer möglich, da Fluktuationen zu globalen Veränderungen führen können. Der Unterschied der Systeme besteht – bezogen auf den augenblicklichen Kenntnisstand – im wesentlichen in der deutlich höheren Komplexität des lebenden Systems und der sich daraus ergebenden quasi-optimalen Abgestimmtheit der zahlreichen wechselwirkenden Prozesse. Lebende Systemen brechen auch nicht zusammen, wenn für kurze Zeit die Stoff- oder Energiezufuhr unterbrochen wird. Bei Organismen kann man von Informationsprozessen sprechen, entsprechend einer Art von entwickeltem „Gedächtnis“. (Dies gilt selbst für Prokaryonten, d. h. für einzellige

Mikroorganismen.) Gemeinsam ist beiden Systemen die große Empfindlichkeit gegenüber Eingriffen. Die Fähigkeit zur Replikation ist dagegen auf lebende Systeme beschränkt, aber auch die Qualität der Reaktion auf Einwirkungen ist verschieden. Auf sie kann ein lebendes System „besser“ reagieren als ein nichtlebendes. Bei überkritischen Einwirkungen kann sich allerdings auch „die Struktur“ des lebenden Systems substantiell ändern, etwa indem sie zerstört wird, aber auch durch die Entwicklung von spezifischen (chemischen) Abwehrmechanismen, z. B. durch die Bereitstellung neuer adäquater Enzyme, etwa solcher, die spezifische, in die „Umwelt“ eingedrungene, Noxen unschädlich machen. Gemeinsam ist beiden Systemen wiederum, daß die zirkuläre Verknüpfung von Einwirkung und folgender Reaktion das System von der Umwelt abgrenzt.

Der „New Scientist“ berichtete kürzlich unter dem Titel *Chemical Brothers: Robots can make do with a head full of goo*: „*The idea that a liquid or gel can produce intelligent behaviour [...] depends upon the computational and problem-solving properties of a strange class of chemical reactions.*“ (Graham-Rowe, 1999). Für den Chemiker ist es sicherlich eine Herausforderung, ein dissipatives Reaktionssystem zu entwickeln, das z. B. wie im genannten Aufsatz angesprochen das Verhalten eines Nanoroboters steuert. Derartige Simulations-Untersuchungen führen zu Erkenntnissen, die sich auf die heute als gegeben angenommene Schnittlinie zwischen belebten und unbelebten Systemen beziehen.

## 5 Schlußwort

Auf der einen Seite gibt es eine zumindest formale Parallele zwischen Abläufen in extrem komplexen dissipativen chemischen Systemen und Abläufen in der Biosphäre, was die Bedeutung relevanter chemischer Simulationsforschung betont. Auf der anderen Seite meine ich hinreichend Indizien zu sehen, daß die Gesetze der Physik nicht ausreichen, die unendliche Mannigfaltigkeit der möglichen chemischen Prozesse zu prognostizieren – vor allem nicht hinsichtlich dissipativer Systeme. Hierbei können geringfügige Änderungen der Randbedingungen, z. B. von Konzentrationen, zu extrem veränderten Reaktionsabfolgen führen (vgl. auch Abb. 1). Vor dem Hintergrund der unüberschaubaren Zahl an Verknüpfungsoptionen stellen spezifische chemische Abläufe die eingangs zitierte Auffassung in ein sehr kritisches Licht, daß sich in der Chemie die Be-

griffsbestimmung für das Naturgesetz entweder wie in der Physik stelle oder unerheblich sei.

Die Grenzen zwischen Physik, Chemie und Biologie verschwimmen. Auch bei akribischem Vorgehen können Naturgesetze nicht ausschließlich nur einem Bereich zugerechnet werden. Die beiden im Teil 2 angegebenen chemischen Gesetze greifen – in unterschiedlichem Maße – für materielle Prozesse in der Kosmo-, Atmo-, Geo-, Hydro-, Kryo- und Biosphäre. In diesem Zusammenhang ist die Aussage von E. Mach interessant: „[...] Bei unbefangenen Blick wird man es aber eher für möglich halten, dass eine Chemie der Zukunft zugleich auch die Physik umfaßt, als umgekehrt“. Eine Projektion auf die Biologie würde bedeuten, daß es nur eine alles umfassende Naturwissenschaft gibt (vgl. Müller/Hörz, 1996), und daß die Zuordnung von Naturgesetzen zu Fächern von deren nicht eindeutig fixierbaren Grenzen abhängt.

Vielleicht könnte man, eingedenk der These von Thomas von Aquin, daß ein Naturgesetz der Teilhabe am ewigen Ganzen entspricht, approximativ von *globalen*, *einfachen* und *komplexen* Gesetzen ausgehen. Die *globalen* Rahmengesetze sind durch die Kosmologie bestimmt. Sie begründen die Möglichkeit chemischer Prozesse, ohne direkte Auswirkungen auf die Gesetze der Chemie zu haben.<sup>9</sup> Die *einfachen* Rahmengesetze vermittelt die Physik, da jeder chemische Prozeß das Verhalten von elementaren Teilchen umfaßt, deren Gesetze durch die Physik beschrieben werden. Diese bestimmen zwar nicht jede Art chemischen Verhaltens, legen aber die *Varianzbreite möglicher Reaktionen* fest. Ein relevantes Gesetz, das für die Biowissenschaften greift, wäre bei dieser Betrachtungsweise ein *komplexes Rahmengesetz*, das die Bedingung für die *Variationsbreite möglicher materieller Abläufe in lebenden Systemen* angibt.

Die Abläufe und Zustände in komplexen Systemen ergeben sich als Möglichkeit aus der Theorie des weniger komplexen Systems, wobei Restriktionen erst durch die Theorie des komplexeren Systems erfaßt werden. Lebende Systeme bilden dabei den Bereich mit den komplexesten Beziehungen zwischen physikalischen und chemischen Gesetzen. Will man hier bestimmte Aussagen machen, kann man nicht alle im Geschehen wirkenden und auf das Geschehen einwirkenden Faktoren gleichzeitig berücksichtigen. Für die Begreifbarkeit der Natur und ihrer Erscheinungen ist ihre approximative Isolierbarkeit Voraussetzung,<sup>10</sup> die wiederum auf einer „deutlichen“ Abstufung von Größenordnungen von Naturkonstanten-Verhältnissen beruht (vgl. auch Hund, 1996). Daß be-

stimmte Verhältnisse der Naturkonstanten  $h$ ,  $c$ ,  $m$  klein sind, führt letztlich erst zur approximativen Isolierbarkeit von Erscheinungen. (Die Kleinheit der Naturkonstanten selbst ist dagegen Voraussetzung, daß es überhaupt belebte Wesen gibt, da für deren Existenz das Vorhandensein einer großen Zahl von elementaren Teilchen nötig ist.) Bei dem im vorliegenden Aufsatz diskutierten Geschehen „passiert“ in den Atomkernen nichts Substantielles im Hinblick auf typische chemische Prozesse. Das führt letztlich zu der Möglichkeit, z. B. die Geschichte eines (!) Eisenatoms in vielen verschiedenen Umgebungen für einen Zeitraum von ca. 4 Milliarden Jahren zu schreiben (Müller/Hörz, 1996), und zu der Möglichkeit, daß eine *Philosophie der Chemie* geschrieben werden kann, welche die Atomkerne außer acht läßt. (Vgl. auch Müller, 1998.)

### Anmerkungen

- 1 Die makroskopisch erkennbare Form eines Organismus z.B. beruht auf permanenten materiellen ‚Veränderungen‘, d. h. komplexen Prozessen auf molekularer Ebene, die erst die Homöostase ermöglichen. Schon Anfang des 20. Jahrhunderts konnte man hierzu lesen: *„The steady states of the fluid matrix of the body are commonly preserved by physiological reactions, i. e., by more complicated processes than are involved in simple physical-chemical equilibria. Special designations, therefore, are appropriate – ‚homeostasis‘ to designate stability of the organism; ‚homeostatic conditions,‘ to indicate details of the stability; and ‚homeostatic reactions,‘ to signify means for maintaining stability.“* (Fruton, 1999)
- 2 Mit dem Einklammern wird die Relativität der Systeme und ihres Randes betont. Letzterer ist in der Wirklichkeit nicht eindeutig bestimmbar, da neben innerer auch immer äußere Wechselwirkung zu beachten ist, Struktur- und Entwicklungsniveaus von Systemen erfassend. Würden sie durch uns zu geschlossenen Systemen erklärt, würde der Hinweis von Thomas mißachtet, daß alle Gesetze in das Ganze einzuordnen sind.
- 3 Auf die Frage, ob die Chemie in ihrer gesamten Komplexität auf die Physik reduzierbar sei, gibt es verschiedene Auffassungen, u.a. eine auf den Punkt gebrachte Kontroverse zwischen dem Befürworter Roger Penrose und seiner Kontrahentin Nancy Cartwright (Penrose, 1998). Im Zusammenhang ist sicherlich auch Heisenbergs Auffassung interessant (Heisenberg, 1989): *„Man darf behaupten, die Quantentheorie habe geradezu gezeigt, daß die chemischen Gesetze einen selbständigen neuen Zusammenhang darstellen [...]“* (vgl. zur Problematik auch die Kapitel *„Berechtigte Reduktionen oder Reduktionismus“* (Müller/Hörz, 1996) sowie *„Kampf dem Reduktionismus“* (Hoffmann, 1997). Grundsätzliches zur Thematik mit dem Resultat, daß die Chemie nicht reduzierbar sei, ist vor allem von Primas (1985) beigetragen

worden.

- 4 Dazu gibt es einen lesenswerten Aufsatz von Charles Peirce (1998), der sich auch mit der Geschichte des Begriffs auseinandersetzt.
- 5 Dies ist im Kontext mit den Ausführungen im Teil 3 von Interesse.
- 6 Dies entspricht dem Massenwirkungsgesetz von Guldberg (1836–1902) und Waage (1833–1900).
- 7 Lebende Systeme bilden wohl den Bereich der materiellen Welt mit den komplexesten Beziehungen zwischen chemischen und physikalischen Gesetzen.
- 8 Dies gilt z. B. für die Proteinsynthese.
- 9 Vgl. hierzu die Tatsache des großen Abstands vom Gleichgewicht.
- 10 In diesem Zusammenhang sind die Verhaltensweisen des „Homo sapiens“ in seiner Welt interessant. Er könnte sich wohl ohne Regularien bzw. die Gültigkeit von Naturgesetzen, die für bestimmte „konstante Ausschnitte“ seiner Außenwelt verantwortlich sind, nicht zurechtfinden. Er kann auf Veränderungen nur angemessen reagieren, wenn er seine Handlungen auf Teilbereiche fokussiert. Naturgesetze existieren übrigens als relative Invarianten, d. h. unabhängig vom menschlichen Handeln; Gesellschaftsgesetze sind relative Invarianten im menschlichen Handeln (vgl. auch Hörz, 1994).

### Literatur

- Bartels, A., 1996, *Grundprobleme der modernen Naturphilosophie*, Schöningh, Paderborn (Kapitel 7: Leben, S. 144).
- Fruton, J. S., 1999, *Proteins, Enzymes, Genes: The Interplay of Chemistry and Biology*, Yale University Press, New Haven, S. 479.
- Graham-Rowe, D., 1999, „Chemical brothers“, *New Scientist*, 163, No. 2205, 6.
- Heisenberg, W., 1984, *Ordnung der Wirklichkeit* (1942) in: Blum, W. et al. (Hrsg.), *Werner Heisenberg Gesammelte Werke*, CI, Piper, München.
- Hörz, H., 1980, *Zufall – Eine philosophische Untersuchung*, Akademie-Verlag, Berlin, S. 85.
- 1994, *Selbstorganisation sozialer Systeme*, LIT-Verlag, Münster, S. 55.
- Hoffman, R., 1997, *Sein und Schein: Reflexionen über die Chemie*, Wiley-VCH, Weinheim (vgl. das Kapitel: Kampf dem Reduktionismus).
- Holleman, A. F. u. Wiberg, E., 1995, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, 101. Aufl., de Gruyter, Berlin.
- Hund, F., 1966, *Theoretische Physik*, Bd. 3: Wärmelehre und Quantentheorie, Teubner, Stuttgart.

- 1996, *Geschichte der physikalischen Begriffe*, Spektrum, Heidelberg, S. 320.
- Jost, W. u. Troe, J., 1973, *Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie*, 18. Aufl., Steinkopff, Darmstadt.
- Kondepudi, D. u. Prigogine, I., 1999, *Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures*, Wiley, Chichester.
- Mittelstraß, J. (Hrsg.), 1984, *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, BI, Mannheim (Stichwort: Naturgesetz).
- Müller, A., 1998, *Philosophia naturalis*, 35, Heft 2, S. 333.
- 1999, „Chemie und Ästhetik – die Formenvielfalt der Natur als Ausdruck ihrer Kreativität“, *ZiF-Mitteilungen (Zentrum für interdisziplinäre Forschung der Universität Bielefeld)*, Heft 4, S. 7-21.
- Müller, A. u. Hörz, H., 1996, „Philosophische Aspekte der Chemie. Ihr Wesen: Universalität und Beständigkeit des Wandels“, in: Müller, A., Dress, A. u. Vögtle, F. (Hrsg.), *From Simplicity to Complexity in Chemistry – and Beyond*, Part I, Vieweg, Wiesbaden, S. 193 und 202.
- Müller, A., Kögerler, P. u. Bögge, H., 2000, „Pythagorean Harmony in the World of Metal Oxygen Clusters of the  $\{Mo_{11}\}$  Type: Giant Wheels and Spheres both Based on a Pentagonal Type Unit“, *Structure and Bonding*, Springer, 96, S. 203.
- Müller, A., Kögerler, P. u. Kuhlmann, C., 1999, „A variety of combinatorially linkable units as disposition: from a giant icosahedral Keplerate to multi-functional metal-oxide based network structures“, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1347.
- Müller, A., Shah, S. Q. N., Bögge, H. u. Schmidtman, M., 1999, „Molecular growth from a  $Mo_{176}$  to a  $Mo_{248}$  cluster“, *Nature*, 397, 48.
- Müller et al., A., 1998, „Unusual Stepwise Assembly and Molecular Growth“, *Chemistry, A European J.* 4, S. 1000.
- Nicolis, G. u. Prigogine, I., 1987, *Die Erforschung des Komplexen: Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften*, Piper, München.
- Peirce, C. S., 1998, *Naturordnung und Zeichenprozeß* (H. Pape, Hrsg.), Suhrkamp, Frankfurt am Main (Kapitel 9: Was ist ein Naturgesetz?).
- Penrose, R., 1998, *Das Große, das Kleine und der menschliche Geist*. Mit Kommentaren von Shimony, A., Cartwright, N. u. Hawking, S., Spektrum, Heidelberg, S. 203.
- Primas, H., 1985, „Kann Chemie auf Physik reduziert werden?“, *Chem. i. u. Zeit*, 19, 109 u. 160.

Schummer, J., 1996, *Realismus und Chemie: Philosophische Untersuchungen der Wissenschaft von den Stoffen*, Königshausen & Neumann, Würzburg.

Thomas von Aquin, *Summa Theologica II*, Quaestio 91, art. 2.

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. H. Hörz und Dr. B. Redeker danke ich für wertvolle Diskussionen und Herrn Dipl.-Chem. P. Kögerler für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.