

*Hansotto Reiber*  
 Von Lichtenbergs „Gespenst“ zur Emergenz der Qualität  
 Die neurobiologische Hirn-Geist-Diskussion im Licht der  
 Komplexitätswissenschaft

Die aktuelle, von Neurobiologen provozierte Hirn-Geist-Diskussion reicht von der Aberkennung eines freien Willens bis zur Behauptung, dass die Kenntnis des Gehirns für das Verständnis der geistigen Funktionen nutzlos ist. Der Versuch menschliches Bewusstsein und Denken auf das materielle Hirn zu reduzieren, ist bislang stets gescheitert, wie der Begriff des Hirn-Geist-„Dualismus“ unmittelbar deutlich macht. Die Kritik an einer solchen reduktionistischen Weltansicht geht bis auf Spinoza zurück. Zu dieser Tradition hat auch Georg Christoph Lichtenberg brillante Bemerkungen beigetragen. Ihm ist unter anderem mit dem „Gespenst, das in der gebrechlichen Hülle unseres Körpers spüht“<sup>1</sup> eine der sensibelsten Beschreibungen des Hirn-Geist-Themas gelungen. Die Auflösung dieses wissenschaftlichen Dilemmas kommt aber nicht aus der Neurobiologie, sondern aus der fachübergreifenden Komplexitätswissenschaft! Sich dem mathematisch definierten Chaos, das aus nichtlinearen Funktionen entsteht, zu stellen, und diese nichtlinearen Zusammenhänge nicht weiterhin als linearisierbar zu behandeln, das ist der entscheidende Wechsel in eine neue Beschreibung der Welt, den wir durchaus als Paradigmenwechsel<sup>2</sup> bezeichnen können. Die Komplexitätswissenschaft<sup>3</sup> eröffnet auch einen naturwissenschaftlich fundierten Umgang mit Qualitäten: Die Emergenz der Eigenschaften eines Organismus<sup>4</sup> wie Form, Farbe oder Funktion ist eine Folge der sie schaffenden, selbstorganisierenden Materie. Manchem Naturwissenschaftler mag es „gespenstisch“ erscheinen, dass diese Qualitäten weder eine materielle „Repräsentation“ haben noch aus ihren konstituierenden Elementen und deren Dynamik ableitbar sind. Auch althergebrachte Begriffe wie Kausalität, Determinismus oder Dualismus verlieren ihre Relevanz für die naturwissenschaftlichen Erklärungsmodelle des emergenten Ganzen.

An der aktuellen, neurobiologischen Hirn-Geist-Diskussion<sup>5</sup> verwundert nicht nur das philosophische Defizit einiger populistischer Neurobiologen (Wolf Singer,<sup>6</sup> Gerhard Roth,<sup>7</sup> Gerald Hüther<sup>8</sup>) und ihrer Interpreten (Thomas Metzinger,<sup>9</sup> Werner Siefer und Christian Weber<sup>10</sup>). Dazu gibt es glücklicherweise vielfältige, brillante Kommentare,<sup>5</sup> die vom milden Hinweis auf einen philosophischen Kategorienfehler<sup>11</sup> bis zur Charakterisierung „der erkenntnistheoretischen Dummheit dieser Forschung“<sup>12</sup> reichen. Was viel mehr irritiert ist aber, dass die naturwissenschaftlichen Defizite dieser Neurobiologen weitgehend widerspruchslos hingenommen werden. Das ist nur verständlich vor dem Hintergrund der allgemein großen Bereitschaft zu einem wissenschaftlichen Reduktionismus.<sup>13</sup> Zwar wird mit den Konzepten von Selbstorganisation<sup>14</sup> und Komplexität umgegangen, aber das Neue<sup>15</sup> daran wird nach den Deutungsmustern und kulturellen Stereotypen des Alten (eben einer reduktionistischen oder materialistischen Wissenschaft) interpretiert. So bleiben selbst modern klingende „Neuro“-Wissenschaftler blind für das, was die Neuheit der Komplexitätswissenschaft wirklich ausmacht. Die geistigen Qualitäten des Menschen ausschließlich als Epiphänomen einer autonomen Selbstorganisation des Gehirns darzustellen ist einer der daraus folgenden Fehler.

Zum besseren Verständnis dieses Neuen beizutragen und seine Konsequenzen für eine kritische Betrachtung der aktuellen Hirn-Geist-Diskussion aufzuzeigen, ist Gegenstand dieses Beitrages. Dass manche Neurobiologen gar, mit wissenschaftlich verbrämten weltanschaulichen Argumenten, ethisch unakzeptable Konsequenzen erwägen, gibt diesem Thema eine besondere gesellschaftliche Brisanz, die nicht unkommentiert bleiben darf.

#### **Lichtenbergs Vision vom Galgen – als Einleitung**

Das Bewusstsein des Menschen ist sicher eine der anspruchvollsten Eigenschaften, die in der biologischen Evolution entstanden sind. Beim Versuch, mehr darüber zu erfahren, wird immer wieder nach Spuren des Geistes im materiellen Gehirn gesucht. Neurobiologische Analysenverfahren mit bildgebenden Techniken<sup>16</sup> verführen nun zur Neuauflage der sehr alten Hirn-Geist-Diskussion, die auch als Leib-Seele-Problem in der Philosophie bekannt ist.

Diese aktuelle Diskussion ist allerdings nicht so esoterisch, wie dies für einen philosophischen Disput dieser Art wirken könnte, da Neuromaterialisten Konsequenzen für die Gesellschaft formulieren,

indem sie unter anderem über prophylaktische Eingriffe in das Leben von potentiell gefährlichen Menschen nachdenken, die sie mit neurobiologischen Methoden identifizieren zu können glauben. Wieder einmal sollen „wissenschaftliche“ Argumente herhalten, um eine Weltanschauung zu begründen.

Die Suche nach der materiellen Manifestation von Geist, Gedächtnis, Gefühl, aber auch von Genie, Wahnsinn und kriminellem Charakter hat über Jahrhunderte führende Gelehrte beschäftigt, aber auch kuriose Früchte gezeitigt.

Der kritischen Reaktion auf die Physiognomielehre Lavaters<sup>17</sup> verdanken wir Georg Christoph Lichtenbergs satirischen Kommentar: „Wenn die Physiognomik das wird, was Lavater von ihr erwartet, so wird man die Kinder aufhängen ehe sie Taten getan haben, die den Galgen verdienen“.<sup>18</sup> Dieser 200 Jahre alte Aphorismus könnte genauso gut ein aktueller Kommentar zum Weltbild des Hirnforschers Wolf Singer sein. Als Direktor eines Max-Planck-Instituts für Hirnforschung verbreitet er medienwirksam die Vorstellung, dass auf der Basis moderner Methoden der Hirnanalyse Verbrecher oder Genie im heranwachsenden Jugendlichen erkennbar werden und schlägt vor, ethische Regeln zu formulieren, die es erlauben, prophylaktisch den potentiellen Täter wegzusperren oder zu behandeln.<sup>6</sup> Gerade in Deutschland mit seiner unrühmlichen Geschichte faschistischer Verbrechen an der Würde des Menschen sollte man etwas mehr kritisches Bewusstsein erwarten können. Der Psychiater Manfred Velden<sup>19</sup> weist auf diese heikle politische Dimension des aktuellen Biologismus hin, der unter anderem einem wissenschaftlich verbrämten Rassismus den Weg ebnet. Allerdings ist der Schritt zum gesellschaftlich legitimierten „behandelnden“ Eingriff in das Leben eines gesunden Menschen eine noch viel weitergehende existenzielle Bedrohung des Einzelnen.

Diese Assoziation mit einer eigenartigen Tradition der Wissenschaft in Deutschland ist nicht so weit hergeholt, wie dies erscheinen mag, zeigt doch diese anmaßende, inhumane Denkweise bis heute eine überraschende Kontinuität. Es ist erst knapp 30 Jahre her, dass die Göttinger Medizinische Fakultät einen Lehrstuhl für „Psychochirurgie“ einrichtete mit dem Konzept, zum Beispiel Homosexualität oder Pädophilie durch stereotaktische Zerstörung von Hirnbereichen zu „heilen“.<sup>20</sup> Der Lehrstuhl wurde nach wenigen Jahren in Lehrstuhl für funktionelle Neurochirurgie umbenannt, „unter dem Druck der Straße“, wie dies der damalige Dekan, der Humangenetiker Wolfgang Engel, bei der Emeritierung des Lehrstuhlinhabers Gert Dieckmann erst vor wenigen Jahren rückblickend ausdrückte. Diese mangelnde Sensibilität für die Brisanz des Themas scheint mir bei einem Humangenetiker nicht zufällig zu sein, war doch in den 90er-Jahren mit dem Aufkommen der molekularen Genetik in der Medizin die Bereitschaft hoch, alle möglichen menschlichen Eigenschaften, unter anderem auch die Homosexualität, als genetisch bedingt anzusehen, also wieder eine materielle Manifestation zu erwarten.

Als Mitglied der Arbeitsgruppe aus Neurologen, Neurochirurgen und Psychiatern, die diesen „Druck der Straße“ produzierte, bin ich Zeitzeuge der brutalen Konsequenzen, die diese bis heute immer wiederkehrenden Lokalisations-Modelle (materielle Repräsentation) der geistigen und emotionalen Funktionen des Menschen im Zusammenhang mit weltanschaulichen Interessen bewirken können.

### **Lichtenberg lässt „Es“ blitzen – Das erkenntnistheoretische Problem**

„*Es denkt*, sollte man sagen, so wie man sagt: *es blitzt*. Zu sagen *cogito*, ist schon zu viel, so bald man es durch *Ich denke* übersetzt. Das *Ich* anzunehmen, zu postulieren, ist praktisches Bedürfnis.“<sup>21</sup> Dieser Aphorismus Lichtenbergs ist ein guter Einstieg in die heutige Hirn-Geist-Diskussion.

Die Materialisten unter den Neurobiologen sagen: „Der Mensch ist sein Gehirn“<sup>22</sup> oder: „Wir sind durch unser Gehirn determiniert“<sup>7</sup> oder gar: „Die Willensfreiheit ist eine Illusion, die uns unser Gehirn vorspiegelt“.<sup>6</sup> Als Konsequenz dieser Sichtweise fordert zum Beispiel Wolf Singer, die Geisteswissenschaften dem Zuständigkeitsbereich der Neurobiologie zuzuordnen.<sup>23</sup> Bei ihm werden „diese oft als psychisch bezeichneten Phänomene“ zum makroskopischen Epiphänomen der determinierend verstandenen Gehirnprozesse.<sup>24</sup>

Eine radikal andere Ansicht artikuliert Manfred Velden,<sup>19</sup> der sich methodenkritisch mit dem Biologismus in der Psychiatrie beschäftigt hat: „Ich glaube nicht, dass mit den biologischen Methoden, also zum Beispiel über Hirnforschung, Evolutionstheorie, molekulare oder quantitative Genetik, eine erschöpfende Erklärung psychischer Prozesse überhaupt möglich ist, ja ich glaube sogar, dass die auf diesem Wege erzielten Erkenntnisse häufig völlig nutzlos sind“.

An diesen beiden Positionen wird das Kategorienproblem deutlich: Was hat das Geistige, das heißt eine Eigenschaft des Gesamtgehirns, also eine Qualität, mit der sie tragenden Materie, dem physischen

Körper zu tun?

Als Ausweg aus diesem scheinbaren Dilemma schlägt unter anderem der Philosoph Thomas Metzinger<sup>9</sup> vor, dies eben als Dualismus zu begreifen und den vermeintlichen Angriff auf das Selbstverständnis des Menschen einfach als auszuhaltende Inkompatibilität<sup>9</sup> zu akzeptieren. Die Verwendung des Begriffes Dualismus im Bereich verschiedener Kategorien ist aber nicht sinnvoll. Dies ist anders beim bekannten Teilchen-Welle-Dualismus in der Physik des Lichtes, hier sind es unvereinbar erscheinende, methodenabhängige Versuchsergebnisse auf der Ebene derselben Kategorie.

In einem früheren Beitrag zum Jahrbuch der Lichtenberg-Gesellschaft hat Friedrich Beck<sup>25</sup> mit Bezug auf obiges Lichtenberg-Zitat sich mit dem Dualismus auseinandergesetzt. Durch die quantenmechanische Betrachtung neurobiologischer Prozesse meint er den Widerspruch zwischen Dualismus und Materialismus auflösen zu können. Einen ähnlichen Versuch, Bewusstsein aus der Quantenphysik zu erklären, macht der Physiker Roger Penrose<sup>26</sup> oder auch viele Autoren der Tucson-Schule (towards a science of consciousness).<sup>27</sup> Neben der Kritik aus den Reihen der Physiker<sup>28</sup> gibt es dagegen einen ganz allgemeinen Einwand aus der Philosophie und der Komplexitätswissenschaft: Diese Versuche einer Physikalisation oder Molekularisierung des Geistes sind in derselben Weise Kategorienfehler wie dies die Biologisierung des Geistes ist.

Das eigentliche Problem dieser reduktionistischen Sicht biologischer Eigenschaften ist der Versuch, kleinste Elementareinheiten von Qualitäten zu finden, und zwar als materielle Teilchen, ganz im Sinne einer klassischen Elementarteilchenphysik, wie sie, vor dem Paradigmenwechsel der Physik,<sup>2</sup> in den 20er-Jahren des letzten Jahrhunderts existierte. Im Gegensatz zu Quantitäten sind Qualitäten aber nicht in Teile zu zerlegen. Dies wird dennoch immer wieder versucht. So werden zum Beispiel „Meme“ als kleinste Einheit von Gedächtnis (memory) formuliert. Dies sollte eine Analogie zum Gen sein. Aber das Gen, ursprünglich ebenso als Elementareinheit der Biologie, damals in Analogie zum Atom der Physik gedacht, basierte schon zu Zeiten seiner Einführung, noch vor dem Paradigmenwechsel in der Physik, auf einem zeitgeistbedingten Verständnisdefizit. Die Suche nach dem repräsentativen Elementarteilchen ist grundsätzlich ein Ausdruck der systemtheoretischen Unkenntnis. Die kleinste Einheit einer Qualität ist sie selbst.

### **Hindernisse und Grenzen der Erkenntnis – der hermeneutische Zirkel**

Das Verständnis der Dynamik nichtlinearer Prozesse in der Natur als Selbstorganisation (siehe unten) hat auch die Hirnforscher erreicht. Die Betrachtung des Geistes als makroskopisches Epiphänomen eines selbstorganisierenden Gehirns<sup>24</sup> ist aber einer der Ausdrücke dafür, dass für das Verständnis der Selbstorganisation oftmals die komplexitätswissenschaftliche oder auch die biologische Basis fehlt. Wir haben es dabei mit dem alten hermeneutischen Zirkel zu tun, dass wir nämlich nur das verstehen, was wir wissen, und nur wissen, was wir verstehen können. Wenn wir das Neue nach den Deutungsmustern und kulturellen Stereotypen des Alten ( zum Beispiel einer reduktionistischen Wissenschaft) wahrnehmen und interpretieren, bleiben wir blind für das, was dessen Neuheit ausmacht. Dieses Defizit ist in der Diskussion der Neurobiologen hinreichend dokumentiert.<sup>29</sup> Vor allem fehlt der wissenschaftstheoretische Umgang mit den Grenzen des naturwissenschaftlichen Selbstorganisationsmodells, die durch das menschliche Bewusstsein markiert werden. Es gibt eine entsprechende Tradition des Widerstands gegen den Materialismus des menschlichen Geistes, der mehrere Jahrhunderte in die Zeit der Entstehung der heutigen reduktionistischen Wissenschaft zurückreicht. Eine Dokumentation dafür finden wir in der zu Lebzeiten Lichtenbergs schon einmal geführten leidenschaftlichen Diskussion um Spinozas Werk aus dem 17. Jahrhundert, die unlängst vom Neurobiologen Damasio erneuert wurde, um seine Sicht von biologischer Emotion und bewusstem Gefühl zu erklären.<sup>30</sup>

### **Komplexitätswissenschaft – Skizze eines naturwissenschaftlichen Paradigmenwechsels**

Vor circa 50 Jahren entstand unter einigen Wissenschaftlern, die in völlig verschiedenen Arbeitsbereichen ungewöhnliche Lösungen ihrer Probleme gefunden hatten, langsam das Verständnis, dass es etwas Gemeinsames in ihrem den konventionellen Denkrahmen sprengenden Tun gibt.<sup>14,15</sup> Ein bemerkenswerter Schritt, wenn man das Spektrum der Arbeitsgebiete ansieht: sich selbst ordnende Zustände fernab des thermodynamischen Gleichgewichts (die Bénard-Konvektion,<sup>3</sup> Prigogines Dissipative Strukturen),<sup>31</sup> Entstehung und Diskontinuität der Laserstrahlung (Hakens Synergetik);<sup>3</sup> Grösseninvarianz oder Selbstähnlichkeit<sup>32</sup> als neue Art der Symmetrie (Mandelbrots<sup>33</sup> Fraktale

Geometrie),<sup>34</sup> Selbstorganisation der Nukleinsäure-Protein-Wechselwirkungen in der Evolution (Eigens Hyperzyklus).<sup>35</sup> Hierzu gehören auch frühere Beobachtungen, wie die Empfindlichkeit nichtlinearer Funktionen für die Anfangsbedingungen und damit die Unmöglichkeit einer exakten Prognose (der Lorenz-Attraktor für das Wetter)<sup>3</sup> oder die prinzipiellen Unvoraussagbarkeiten von Planetenbahnen in der Astronomie (Poincarés Dreikörperproblem).<sup>3</sup>

Seit langem beobachtete Phänomene in der Natur werden plötzlich auf der Basis der Komplexitätswissenschaft erklärbar: selbstähnliche<sup>36</sup> Strukturen in der Astronomie (Anordnung der Saturnringe)<sup>3</sup> oder in der Biologie<sup>4</sup> (zum Beispiel selbstähnliche, fraktale Strukturen im Romanesco-Gemüse), die Entdeckung der Fibonacci-Zahlenreihe in der Anordnung der Samen in der Sonnenblume,<sup>4</sup> der Goldene Schnitt als in der Natur zu findende Symmetrie,<sup>4</sup> evolutionäre Stabilität von Durchgangsstadien in der individuellen Entwicklung einer Spezies (Morphogenese).<sup>4</sup> Was ist also das Gemeinsame, das die Wissenschaftler entdeckten und das zur Wissenschaft der Komplexität wurde?

In der Komplexitätswissenschaft wird die *nicht-lineare Dynamik*<sup>37</sup> von Prozessen der belebten und unbelebten Natur behandelt. Sich dem mathematisch definierten Chaos, das aus nichtlinearen Funktionen<sup>37</sup> entsteht, zu stellen und diese nichtlinearen Zusammenhänge nicht weiterhin als linearisierbar zu behandeln, das war der entscheidende Wechsel in eine neue Beschreibung der Welt. Damit wurden plötzlich fächerübergreifende Regeln und Grundsätze sichtbar. Mit Poincarés Entdeckung wurde beiläufig, fast unbemerkt, Keplers Sicht des Universums ungültig; mit Prigogines Thermodynamik fernab des Gleichgewichts wurde die Vorstellung von sich nichtlinear entwickelnden Stabilitäten, zum Beispiel in biologischen Systemen, umgekrempelt; mit der Vorstellung von Attraktoren<sup>38</sup> in der Epigenese<sup>39</sup> wurde die Evolutionstheorie Darwins entscheidend erweitert.<sup>4</sup> Die Möglichkeit und Notwendigkeit, das ungeteilte Ganze zu untersuchen, hilft darzustellen, warum der reduktionistische Wissenschaftsansatz<sup>13</sup> Descartes' zur Erklärung der Welt und ihrer Natur prinzipiell unzureichend sein muss.

So war es auch eine aus dem Zeitgeist folgerichtige Idee in der Biochemie der 70er-Jahre, nicht ein einzelnes Enzym, sondern eine biologische Kombination mehrerer Enzyme zu untersuchen. Das Ergebnis, die Glykolyse-Oszillation<sup>40</sup> mit spontanen Übergängen zwischen Regelzuständen verschiedener Komplexität, wurde mit Erstaunen beobachtet.<sup>41</sup>

Dies alles eröffnet die Ahnung, dass sich mit der Untersuchung unzerstückelter Systeme<sup>42</sup> und der Einführung nichtlinearer Auswerteverfahren<sup>43</sup> vor allem die Fragestellung in der Naturwissenschaft verschoben hat und verschieben muss. Dies zu verstehen ist die entscheidende Voraussetzung für den sich abzeichnenden Paradigmenwechsel in der Naturwissenschaft biologischer und sonstiger komplexer Systeme.

### **Komplexitäts-Wissenschaft versus Klassische Naturwissenschaft.**

Die folgenden Beispiele sollen den Unterschied zwischen den neuen Denkstrukturen einer Wissenschaft der Komplexität<sup>3</sup> und dem klassischen Reduktionismus<sup>13</sup> erfahrbar machen.

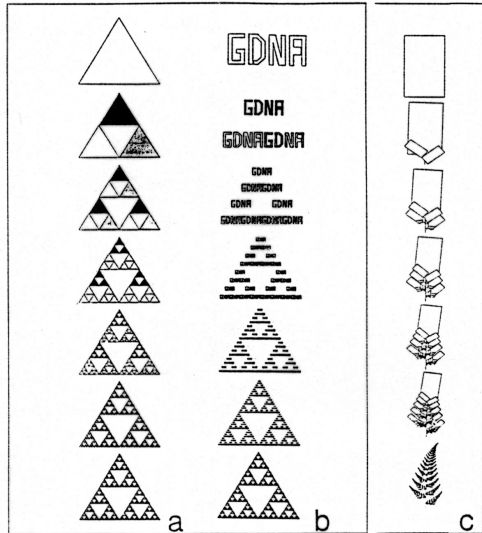
Beim Studium der Natur, wie zum Beispiel der Funktion eines Organismus oder der Ursache einer Krankheit, werden in der gängigen naturwissenschaftlichen Praxis physikalische, chemische, biochemische oder biologische Teil-Systeme (Organe, Zellen, Moleküle) untersucht. Diese Reduktion auf die Untersuchung von konstituierenden Einzelteilen<sup>44</sup> und deren Wechselwirkungen ist das klassische Erkenntnismodell der Naturwissenschaft, in dem vor allem die linearen Interpretationsmodelle anwendbar waren. Die Erfolglosigkeit einer linear kausalen Erklärung zum Beispiel in der Medizin chronischer Erkrankungen<sup>45</sup> kann aus der Komplexitätswissenschaft begründet werden.

An einem geometrischen Beispiel, dem Sierpinski-Dreieck in Abb. 1, wird die Bedeutungslosigkeit des konstituierenden Elementes sichtbar. Das Sierpinski-Dreieck entsteht in der Abb. 1a aus einem Dreieck, sozusagen dem konstituierenden Element, durch die stetige Wiederholung (Iteration) einer einfachen Regel (Algorithmus): durch Verkleinern und Dreifach-nebeneinander-Kopieren dieses Dreiecks. Wenn man nun statt mit dem Dreieck als Anfangselement mit der willkürlichen Buchstabenfolge GDNA<sup>34</sup> beginnt (in Abb. 1b), dann bekommt man mit dem gleichen Algorithmus ebenfalls das Sierpinski-Dreieck. Es ist also nicht das Ausgangselement oder dessen Struktur, es ist der wiederholte Algorithmus, der die Gestalt bestimmt. Mit einem ähnlich einfachen, linearen

Abb. 1 Das Sierpinski-Dreieck

Die Konstruktionsregel (als Algorithmus bezeichnet) für die Abb. a) und b) lautet: Verkleinere das Ausgangselement (Dreieck, oder GDNA) und kopiere es dreimal nebeneinander. Wiederhole diesen Vorgang (als Iteration bezeichnet, s. Legende in Abb. 2).

Wenn man statt mit dem Dreieck als Anfangselement in a) mit der Buchstabenfolge GDNA in b) beginnt (Beispiel aus einem Vortrag von Peitgen und Jürgens<sup>34</sup> in der Ges. Deutscher Naturforscher und Ärzte (GDNA)), dann bekommt man mit der gleichen Regel ebenfalls das Sierpinski-Dreieck. Mit einem ähnlich einfachen Algorithmus lässt sich durch Iteration in c) eine farnähnliche Form entwickeln.



Algorithmus lässt sich bereits eine farnähnliche Form entwickeln (Abb. 1c). Ins biologische System übersetzt: Die Entwicklung der Form (oder Funktion) wird nicht durch die Moleküle oder Gene bestimmt, sondern durch deren Interaktionsregeln. Das konstituierende Element ist kein Elementarteilchen der emergenten Eigenschaften. Zum möglichen Zusammenhang von konstituierenden Elementen und deren Interaktionsregeln sagt der Abschnitt zur Selbstorganisation mehr.

Was für die klassische, reduktionistische Wissenschaft daraus zu lernen ist: Das Studium der konstituierenden Ausgangselemente oder Teilsysteme allein liefert keine Information über die Entstehung des Gesamt-Systems und sagt schon gar nichts über seine emergente Eigenschaft, hier die Form des Ganzen, aus. Die Form des Ganzen, das Dreieck, ist auch nicht in einem konstituierenden Element repräsentiert. Dafür taucht aber eine neue Beobachtung auf: Selbstähnlichkeit,<sup>36</sup> das heißt, dass auf verschiedenen Größenstufen dieselbe Form wie im Gesamtsystem erkennbar wird.

Wenn also nun zusätzlich zu den Elementen deren Dynamik der Interaktion untersucht wird und damit (zumindest theoretisch) alle notwendigen Informationen über das System bekannt wären, kann dann damit immer noch nicht die Eigenschaft der emergenten Gestalt oder die Funktion des Ganzen vorausgesagt werden. Die von Descartes aus einem reduktionistischen, mechanistischen Weltbild<sup>13</sup> abgeleitete Erwartung (Laplace'scher Dämon<sup>13</sup>) wonach man nur genug wissen muss, um alles auf eine mit den Newton'schen Gesetzen erklärbare Welt zurückzuführen, wird von der Komplexitätswissenschaft, die die nichtlineare Dynamik betrachtet, widerlegt.

### Nichtlineare Dynamik – der Weg ins Chaos<sup>3</sup>

Die naturwissenschaftliche Beobachtung beginnt oft mit der wiederholten Messung von Eigenschaften eines Parameters (Luftdruckänderung, Elektrokardiogramm, Fieberkurve, Börsenkurs, intrazelluläre Glucosekonzentration, usw.). Diese Registrierung einer zeitlichen Veränderung eines Messwertes wird als Zeitreihe bezeichnet. Die Glykolyse-Oszillation wurde als ein Beispiel aus der Biochemie bereits genannt. In Abb. 3 wird ein anderes empirisches Beispiel aus der Ökonomie gezeigt. Das Beispiel in Abb. 2 zeigt anhand einer einfachen, aber „nicht-linearen“<sup>37</sup> mathematischen Funktion, der sogenannten „logistischen Gleichung“, wie eine chaotische Zeitreihe (rechtes Diagramm) durch geringfügige Änderungen eines Parameters durchaus deterministisch herzuleiten ist. Die

Abb. 2. Dynamik einer nicht-linearen Funktion mit bekanntem Algorithmus

Das Beispiel zeigt die mathematische Konstruktion von Zeitreihen durch Iteration aus der sog. logistischen Gleichung, einer einfachen nicht-linearen<sup>37</sup> Funktion. Damit kann das Wachstum einer Population (Schädlinge, zum Beispiel Kartoffelkäfer) berechnet werden: Wie viele Tiere gibt es im nächsten Jahr,  $x_{n+1}$ , wenn es in diesem Jahr  $x_n$  Tiere gibt und ihre Reproduktionsrate  $r$  beträgt. Der Term  $(1 - x_n)$  ist nötig, da man eine Limitierung der Nahrung (und die Konkurrenz darum) im Ökotope (Garten, Acker) mit wachsender Zahl der Tiere ( $x_n$ ) annehmen muss. Die Population würde sonst rechnerisch auf eine unendliche Größe anwachsen. Durch diese Rückkopplung wird das Wachstum der Population limitiert und die Gleichung nichtlinear. Wie im Beispiel gezeigt, wird das Ergebnis der ersten Berechnung (0.714) für die Zahl der Tiere im nächsten Jahr wieder in die Rechnung eingesetzt und so der Wert für das übernächste Jahr berechnet (0.694) usw. Der eingegebene Startwert für  $x_n$  (= 0.300) bedeutet, dass 30% der maximal überlebenden Zahl an Tieren zu Beginn der Rechnung in diesem Habitat leben (mathematisch gesprochen ist dies ein normierter Wert mit Bereich 0-1.0).

Es gibt zwei Einflüsse auf den zeitlichen Verlauf der Populationsgröße, d.h. der Wertefolge in den Zeitreihen der Abb. unten: 1. Die geringste Störung im Wert der Reproduktionsrate  $r$  (mehr Fressfeinde, Schädlingsbekämpfungsmittel, Dürreperioden etc.) hat zur Folge, dass die weitere Entwicklung von  $x_{n+1}$  zu einer prinzipiell anderen Zustandsfolge (Attraktor) gehören kann: An bestimmten Stellen entsteht für eine kleine Änderung von  $r$  plötzlich eine völlig andere Regulation und damit auch eine völlig andere Populationsfolge, die nicht aus einer „linearen“ Extrapolation der beobachteten Funktionsergebnisse zu schließen wäre. Bei  $r = 3.0$  geht die konstante Populationszahl in eine oszillierende über, bei ca. 3,45 in eine quasiperiodische und bei  $r = 3.7$  haben wir eine chaotische Folge, bei der die Population von einem Jahr zum anderen zwischen 10 und 90 % schwanken kann. 2. Durch Änderung des Startwertes von  $x$  (z. B. zu  $x = 0,301$ ) verschiebt sich die Zustandsfolge innerhalb desselben Attraktors. Durch die ständige Wiederholung (Iteration) des Rechenprozesses macht diese kleine Störung bei einer nichtlinearen Funktion das Ergebnis des Prozesses nach wenigen Iterationen unvorhersagbar. Dagegen ist in linearen Funktionen ( $x_{n+1} = r x_n$ ) eine so kleine Abweichung der Ausgangsbedingungen für das Ergebnis zu vernachlässigen.

#### Logistische Gleichung für die Populationsdichte

$$x_{n+1} = r x_n (1 - x_n) = r (x_n - x_n^2)$$

im nächsten Jahr  $x_{n+1} = ?$

wenn in diesem Jahr  $x_n = 0.3$  (0-1.0)

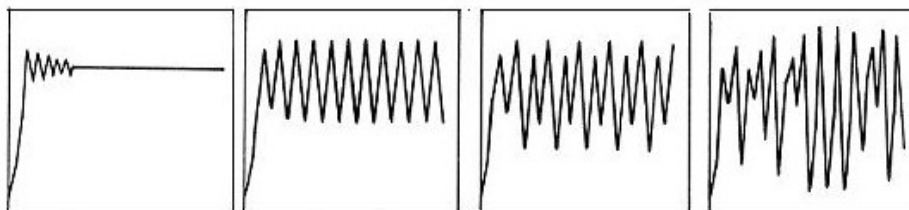
und Reproduktionsrate  $r = 3.4$

**Rechenbeispiel für eine Iteration**

$$x_{n+1} = 3.4 \cdot 0.30 (1 - 0.30) = 0.714$$

$$x_{n+1} = 3.4 \cdot 0.714 (1 - 0.714) = 0.694$$

$$x_{n+1} = 3.4 \cdot 0.694 (1 - 0.694) = 0.722$$



**r = 2.0**

**r = 3.4**

**r = 3.5**

**r = 3.7**

Nichtlinearität der Funktion bewirkt dabei zwei gravierende Unterschiede zur linearen Funktion: 1. Eine geringfügige Änderung in einem variablen Parameter (im Beispiel die Reproduktionsrate  $r$  der Schädlinge) hat unerwartete, geradezu katastrophal wirkende Sprünge in den Werten einer anderen Variablen (Populationsgröße) zur Folge: Die Population variiert zwischen fast keinen Schädlingen und einer Landplage. Die Regulation des Systems bekommt an diesen Übergangsstellen eine andere Ordnung und Stabilität. 2. Geringfügigste Unterschiede des Startwertes, mit dem zwei verschiedene

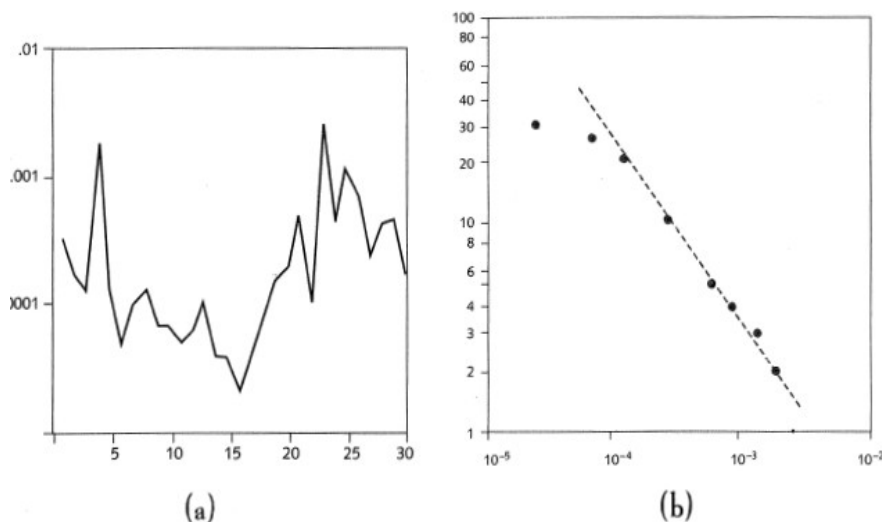
Berechnungen begonnen werden, machen durch die Iteration die Abweichung der Zeitserien nach wenigen Wiederholungen völlig unüberschaubar verschieden. Die Prognose eines Wertes zu einem bestimmten Zeitpunkt hängt also trotz bekannter Funktion kritisch von den Anfangsbedingungen ab. Generell sehen wir in Abb. 2, dass selbst hinter einer chaotischen Zustandsfolge eine relativ einfache, aber nicht-lineare Funktion<sup>37</sup> stehen kann. Es dreht sich also auch bei der chaotischen Zeitserie um das Ergebnis eines deterministischen Prozesses mit definiertem, wenngleich in der Praxis meist unbekanntem Zusammenhang. Wir sprechen deshalb auch vom deterministischen Chaos als Gegensatz zu zufälligen Wertefolgen, wie es zum Beispiel das Rauschen im Radio darstellt.

Was heißt das für den praktischen Umgang mit experimentellen Zeitserien und deren Interpretation? Im reduktionistischen Ansatz werden in der meist unbegründeten Annahme einer linearisierbaren Funktion einfach der Mittelwert aller Messwerte und ihre Standardabweichung errechnet, um so das System zu charakterisieren und mit anderen zu vergleichen. An den Zeitreihen mit ihren unterschiedlichen Formen in Abb. 2 und 3 wird sichtbar, dass diese lineare Statistik unzureichend ist, um die hinter den Zeitreihen stehende Dynamik zu beschreiben. Woher wissen wir aber, dass hinter einer Zeitreihe ein funktionaler Zusammenhang existiert und dies nicht einfach unzusammenhängendes Rauschen ist, wenn wir die mathematische Funktion nicht kennen, was in der Natur, wie in Abb. 3, meist der Fall ist?

### Abb. 3 Monatliche Variationen der Baumwollpreise und die fraktale Dimension

a) Über einen Zeitraum von 30 Monaten sind die Preisdifferenzen der aufeinander folgenden Monate dargestellt (Mandelbrot 1963<sup>33</sup>). (b) In dem doppelt-logarithmischen Diagramm (Doppelt-Log-Plot) ist die Häufigkeit als Funktion der Größe der Schwankungen angegeben. Dazu werden die Schwankungen (Differenzen von Monat zu Monat) von Abb. a) nach Größe geordnet. Die Punkte in b) zeigen die Zahl der Monate (y-Achse), in denen die Differenz größer als ein auf der x-Achse angegebener Wert war. Aus der Exponentialfunktion vom Typ  $N = s^D$  (power law) wird in der doppelt-logarithmischen Darstellung  $\log N = D \log s$ . Der konstante Exponent  $D$  ist die Steigung der Geraden in der Abb. b) und wird auch als Korrelations-Dimension oder fraktale Dimension<sup>46</sup> dieses ökonomischen Regelsystems bezeichnet.

Für die Prognose des unbekanntes nächsten Wertes (im 31. Monat) kann nur der Bereich zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert vermutet werden, aber selbst wenn eine Funktion bekannt wäre, ist der exakte Wert nicht prognostizierbar, da die exakten Anfangsbedingungen nicht bekannt sind, ja nie bekannt sein können.



Benoit Mandelbrot<sup>33</sup> untersuchte die Schwankungen der Baumwollpreise (Abb. 3a), etwas so Unvorhersagbares wie die Börsenkurse. Er entdeckte mit der Darstellung der Häufigkeit verschieden großer Differenzen einander folgender Werte im doppelt logarithmischen Diagramm eine die gesamte Natur durchziehende Gesetzmäßigkeit: Wie in der Legende zu Abb. 3 erklärt, wird es möglich, aus der Beobachtung einer Geraden im doppelt-logarithmischen Diagramm zu zeigen, dass die Messwert-Schwankungen überhaupt einem funktionalen Zusammenhang zuzuordnen sind. Da mit einer solchen Geraden gezeigt wird, dass über mehrere Größenordnungen dieselbe Exponential-Funktion (power

law) herrscht, wurde es auch möglich festzustellen, dass die Regulation dieses Systems skaleninvariant, das heißt selbstähnlich<sup>36</sup> ist, dass das System einen stabilen Attraktor<sup>38</sup> hat und weiterhin, welche Komplexität seiner Regulation zuzuordnen ist. So begann die Ära der nichtlinearen Auswerteverfahren.<sup>43</sup> Damit lassen sich die Veränderungen zwischen verschiedenen Regulationszuständen, wie diese in den Beispielen der Abb. 2 zu sehen sind, auch ohne (wie zum Beispiel in Abb. 3) die zugrunde liegende Funktion zu kennen, naturwissenschaftlich durch ihre verschiedene fraktale Dimension (Steigung der Geraden in Abb. 3b)<sup>46</sup> charakterisieren. Diese praktische Anwendbarkeit der Komplexitätswissenschaft mit den nichtlinearen, mathematisch einfachen Auswerteverfahren erlaubt es aus Messreihen von einzelnen Parametern ein System zu charakterisieren. So wurde zum Beispiel entdeckt, dass die Herzfrequenz-Variabilität<sup>41</sup> bei chronisch Herz-Kranken eine höhere Ordnung der Regulation als bei Gesunden hat, das heißt in der Krankheit die Komplexität der Regulation abgenommen hat. Außerdem ist damit die für manche Mediziner überraschende Aussage möglich, dass diese chronische Krankheit einen Attraktor hat und damit wie beim Gesunden einen stabilen Zustand darstellt.<sup>45</sup> Das entspricht ja gerade auch der empirischen Erfahrung der Ärzte, dass chronische Erkrankungen (zum Beispiel Bluthochdruck) bislang nicht ursächlich therapierbar, das heißt heilbar sind, sondern nur auf die Symptome Einfluss genommen werden kann. Diese Frage nach der therapeutischen Konsequenz ist exemplarisch für die allgemeinere Frage: Wie entsteht ein anderer Attraktor (hier als Wechsel zu einer Krankheit)? Um diese Konsequenzen verstehen zu lernen, ist das Konzept der Selbstorganisation eines emergenten Ganzen, das heißt die spontane Entstehung von Ordnung, darzustellen. Genau dies ist aber auch der wichtigste Aspekt unseres Hauptthemas mit der eingangs gestellten Frage: Was hat das Geistige, das heißt die emergente Qualität des Gehirns, mit der die Qualität tragenden Materie, dem physischen Körper zu tun? Wie entsteht Geist, Gedächtnis oder Bewusstsein?

### Selbstorganisation und das emergente Ganze

Der Gesamtprozess, in dem sich die Mechanismen (Algorithmen), die zur spontanen Entstehung, das heißt Emergenz von Formen, Funktionen oder Gestalt (physikalisch als Ordnung zu verstehen) entfalten, wird als Selbstorganisation<sup>47</sup> beschrieben. Chemische Reaktionen, biologische Systeme oder astrologische und physikalische Prozesse sind als eine selbstorganisierende Entstehung von Ordnung, plakativ als *Organisation ohne Organisator* beschreibbar. Stuart Kauffmann<sup>48</sup> nennt dies Ordnung aus dem Nichts, („order for free“), wenn er auf die energetische Betrachtung des Prozesses zu sprechen kommt.

Selbstorganisation ist den Philosophen, nicht erst seit Kant, Hegel und Mead<sup>49</sup>, ein bekannter Begriff. Der systemtheoretische Begriff soll hier aber nicht diskutiert werden. In zu vielfältiger Weise wurde damit umgegangen. Die Emergenz von Bedeutung in der Sprache hat zum Beispiel Ludwig Wittgenstein<sup>50</sup> mit folgendem Satz treffend thematisiert: „Was *sich* in der Sprache ausdrückt können *wir* nicht durch sie ausdrücken“. Als Naturwissenschaftler haben wir es heute einfacher die Selbstorganisation emergenter Qualität darzustellen.

Am Beispiel der Belousov-Zhabotinsky (BZ-) Reaktion<sup>51</sup> (Abb. 4) ist das sich selbstorganisierende, spontane Erscheinen (Emergenz) einer neuen Eigenschaft experimentell zu demonstrieren und mit allen interessanten Aspekten der Selbstorganisation in komplexen Systemen zu diskutieren. Sie bekommt damit eine geradezu normative Bedeutung für das Verständnis der Selbstorganisation.<sup>47</sup> In der BZ-Reaktion wird in chemischen Reaktionen<sup>51</sup> Malonsäure (ein kleines organisches Molekül) zu Malondialdehyd oxidiert. Dabei entsteht ein rhythmischer Wechsel (Oszillation) zwischen überschießendem Oxidations-Zustand und Rückkehr in den Reduktions-Zustand eines Zwischenproduktes der Reaktion. Unter quasi zweidimensionalen Rahmenbedingungen, das heißt, wenn die Reaktion in einer flachen Schicht in einer Petrischale abläuft (Abb. 4), bleibt der Umschlag eine lokale Reaktion, die sich aber langsam über die ganze Fläche wie eine Welle ausbreitet. Diese Folge von Wellen mit konstantem Abstand sieht aus wie die Ausbreitung einer Erregungswelle mit folgender Erholungsphase.<sup>52</sup> Lassen wir die BZ-Reaktion statt in der flachen Petrischale in einem großen Gefäß (dreidimensionaler Rahmen) ablaufen, dann ergibt sich aber hier durch diese Schwankungen zwischen Oxidationszustand und Reduktionszustand ein zeitlich regelmäßiger Farbumschlag der gesamten Lösung. Diese mit konstanter Frequenz oszillierende Anordnung der gesamten Lösung wird auch als „chemische Uhr“ bezeichnet.



#### Abb. 4 Belousov-Zhabotinsky-Reaktion und chemische Selbstorganisation

In dieser chemischen Reaktion<sup>51</sup> zeigt sich die selbstorganisierte, spontane Entstehung (Emergenz) von Oxidationswellen, die sich erregungsähnlich über die gesamte Petrischale ausbreiten. In dieser Reaktion wird Malonsäure oxidiert, dabei entsteht ein rhythmischer Wechsel (Oszillation) zwischen überschießendem Oxidations-Zustand und Rückkehr in den Reduktions-Zustand eines Zwischenproduktes der Reaktion. Unter zweidimensionalen Rahmenbedingungen einer Petrischale bleibt der Umschlag eine lokale Reaktion, die sich langsam über die ganze Fläche als Welle mit konstantem Abstand (Frequenz) ausbreitet. Links oben sieht man den spontanen Start der Oxidations-Reaktion in den willkürlich verteilten hellen Punkten, die durch lokale Konzentrationsfluktuationen in dem anfangs homogen verteilten Molekülgemisch entstehen.



Zusammenfassend können an der BZ-Reaktion alle wichtigen Aspekte der Selbstorganisation emergenter Eigenschaften gezeigt und exemplarisch diskutiert werden:

1. In keinem der Einzelelemente (hier Malonsäure, Bromid, Bromat, Eisen, Farbstoff als Redox-Indikator) ist diese Qualität (zum Beispiel der chemischen Uhr) durch irgendeine Untersuchung zu finden (repräsentiert) oder daraus theoretisch abzuleiten.
2. Innere Interaktionsregeln, die Algorithmen, basieren hier auf den physiko-chemischen Reaktions-Eigenschaften der konstituierenden Moleküle. Im Gegensatz zum mathematischen Modell des Sierpinski-Dreiecks (Abb. 1) sind in der Natur die Interaktionsregeln durch die Eigenschaften der Elemente mit bedingt. Da aber die bekannten 32 Einzelreaktionen der BZ- Reaktion mit Rückkopplung<sup>37</sup> interagieren, sind die Algorithmen nichtlinear im Gegensatz zum Sierpinski-Dreieck mit linearem Algorithmus.
3. Spontane Entstehung von Ordnung ohne „Organisator“ (hier beginnend durch lokale Konzentrationsfluktuation in einem homogen verteilten Molekülgemisch, kein Molekül steuert ein anderes, das heißt, es ist stets selbst integriert in die Wechselwirkungen mit anderen, durch die es selbst wiederum auch verändert wird). Die Interaktionen aller Bestandteile bewirken die Funktion (hier Oszillation zwischen zwei Zuständen mit bestimmter Frequenz).
4. Die Erscheinungsform (hier als chemische Uhr mit zeitlicher Dimension oder als flächige Ausbreitung der Wellen mit lokaler Oszillation) wird auch von äußeren strukturgebenden Einflüssen (hier Dimensionen der Flüssigkeitsausdehnung) mitbestimmt.
5. Für die oszillierenden Zeitserien der Oxidationszustände in beiden Systemen lässt sich ein Ringzyklus-Attraktor im Phasendiagramm<sup>40</sup> darstellen, oder es lässt sich auch durch andere nichtlineare Auswerteverfahren die fraktale Dimension,<sup>46</sup> die Komplexität des Systems bestimmen.

### Selbstorganisation in der Biologie

An biologischen Beispielen können unterschiedliche Ebenen der Relevanz des Selbstorganisationsmodells und letztlich auch dessen Grenze aufgezeigt werden.

*Im ersten Teil möchte ich die Emergenz von Emotionen und die Emergenz sozialer Funktionalität darstellen.*

Weibliche Ameisen und Bienen können eine Vielzahl von funktionell sehr verschiedenen Körperformen haben. Bei einer schnellen Entwicklung wird aus einer Larve eine Königin, bei langsamerer Entwicklung wird aus dieser Larve eine Arbeiterin, bei der die Funktion der Fortpflanzungsorgane unterdrückt ist. Eine schnelle Entwicklung kann experimentell durch sehr verschiedene Einflüsse bewirkt werden: Geht zum Beispiel einer Ameisenkolonie die Königin verloren, so kann durch hormonreiche Ernährung (Tropholaxis) aus einer sich sonst normal langsam zur Arbeiterin entwickelnden Larve von den verbleibenden Ameisen die Entwicklung beschleunigt und so eine Königin herangezogen werden. *Königin zu werden ist also nicht durch die Gene determiniert, sondern passiert aufgrund einer sozialen Indikation.* Durch die besonders hormonreiche Ernährung wird also lediglich eine schnellere Entwicklung im räumlich-zeitlichen Entwicklungsprozess (Epigenese<sup>39</sup>) ermöglicht. Welche der möglichen stabilen Gestaltoptionen (Attraktoren<sup>38</sup>) einer Larve realisiert werden, hängt also von äußeren, nicht in ihr vorgegebenen genetischen Einflüssen ab.

Es ist allerdings nicht einfach zu verstehen, warum beim Verlust ihrer Königin Ameisen beginnen, durch andere Ernährung einer Larve das lebensbedrohliche Defizit der Kolonie zu beheben. Da es sich wohl kaum um eine bewusste Wahrnehmung handelt, dürfte hier, ebenfalls im Sinne einer Selbstorganisation, die Kolonie als überlebensfähiger eigenständiger Organismus agieren. Bei Bienen ist dies mit dem Begriff „der Bien“ als Ausdruck des überlebensfähigen Ganzen beschrieben worden. Diese Selbstorganisation zu einem Ganzen wird in vielfältiger Weise sichtbar. Brian Goodwin<sup>4</sup> zeigt in einem experimentellen Beispiel, dass mit zunehmender Populationsdichte Ameisen den Übergang von einem chaotischen Aktivitätsmuster des Einzeltieres in ein koordiniertes, synchrones Aktivitäts- und Ruhephasen-Muster zeigen. Solche Übergänge vom (chaotischen) Verhalten als Einzeltier zum kohärenten Verhalten als organismusähnliches System kann man auch in der Schwarmbildung von Vögeln oder Fischen beobachten. Diese Synchronisation der Aktivitäten im emergenten Ganzen ist von entscheidender Bedeutung für das Funktionieren der ganzen Kolonie (zum Beispiel in der Brutpflege<sup>53</sup>) mit ihren nicht hierarchisch strukturierten, selbstorganisierenden Aufgaben.

Solche überlebensrelevante emergente Qualitäten sind nicht an ein Nervensystem gebunden.

Antonio Damasio<sup>30</sup> hat die von ihm als Emotionen definierten Funktionen von Organismen (Flucht, Paarung, Furcht, Ekel, Trauer, Mitgefühl, Scham) systematisch dargestellt. Es geht dabei auf der evolutionsbiologisch frühesten Ebene um Mechanismen der Überlebensstrategien von einfachen Organismen wie dem Pantoffeltierchen, die als Vermeidensreaktionen (Flucht) oder als Annäherung (Attraktion an Nahrungsquellen, Paarungsverhalten) auch ohne zentrales Nervensystem funktionieren. Bei evolutionsbiologisch späteren Strukturen kommt Lernen, die erfahrungsabhängige Variante (zum Beispiel Phobien), oder die sozial definierten Varianten (zum Beispiel Scham) der Emotionen ins Spiel. Zur Begründung dieser Emergenz von Emotionen bezieht sich Antonio Damasio<sup>30</sup> auf Spinoza, der bereits vor 400 Jahren das unablässige Bemühen (conatus) jedes Lebewesens, sich selbst zu erhalten, als wichtige Eigenschaft unserer Existenz bezeichnet hat: „Das Bestreben, womit jedes Ding in seinem Sein zu beharren sucht, ist nichts als das wirkliche Wesen dieses Dinges selbst“. „Conatus“ steht für die Fähigkeit der biologischen Prozesse, unablässig dasselbe Individuum zu formen und sich an denselben Körperbauplan zu halten, trotz aller Transformationen, die der Körper durchläuft, während er sich entwickelt, sich erneuert und altert. Spinozas „Conatus“ findet damit eine Entsprechung in dem aus der Chaostheorie stammenden neueren Begriff des „Attraktors“.<sup>38</sup>

Die Emergenz von Qualitäten aus physikalischen, chemischen oder physiologischen selbstorganisierenden Prozessen bestimmt die Natur von der BZ-Reaktion bis zur Emotion oder Schwarmbildung. Die Dynamik chaotisch verlaufender Einzelelemente wird unter bestimmten Bedingungen zur selbstorganisierten Emergenz von Ordnung. Dies gilt natürlich auch für die Wechselwirkung von Neuronen in neuronalen Netzwerken. Was passiert aber, wenn wir von Gedächtnis, Bewusstsein oder Geist als emergenten Eigenschaften des Gehirns sprechen? Sind das wirklich auch unbeeinflussbare Epiphänomene der Selbstorganisation, wie dies für die Schwarm- oder Kolonie-Bildung als Konsequenz der selbstorganisierten Kohärenz formuliert werden kann?

### **Das Gefühl oder: Wenn Bewusstsein ins Spiel kommt**

Dass der Mensch Emotionen „fühlen“ kann, also Gefühle hat, ist ein wesentlicher Teil des Bewusstwerdens von elementaren körperlichen Prozessen und Funktionen. Gefühle sind nach Damasio<sup>30</sup> die als bewusst bezeichnete Wahrnehmung der emotionalen Befindlichkeiten. Damasio sieht Gefühle geradezu als wesentlichen, unabtrennbaren Teil der Bewusstseinsbildung. Hiermit erreichen wir auf der Evolutionsleiter eine neue Qualität. Der Mensch als selbstreflexiver Agent zeigt auch die Grenzen oder besser die Erweiterungsbedürftigkeit des Selbstorganisations-Modells auf. Mit dem Bewusstsein wird dieses Modell der Selbstorganisation von Elementen und deren Interaktionen zur Bildung (Emergenz) einer neuen Qualität des Ganzen entscheidend modifiziert. Der Mensch ist nicht nur ein interagierendes Element sozialer Prozesse,<sup>54</sup> sondern er kann auch als selbstreflexiver Agent<sup>55</sup> das Ergebnis seiner Handlungen im sozialen Interaktionskontext erkennen oder gar antizipieren und so auch versuchen, die emergente Qualität, das Ergebnis oder das mögliche Ergebnis seines Handelns zu ändern. Antizyklisches Verhalten, Widerstand, Verweigerung, Lobbybildung, Gewalt sind Beispiele, mit denen der Einzelne versuchen kann, das Ergebnis eines sozialen Interaktionsprozesses (Familienstruktur, Betriebskultur,<sup>55</sup> Gesellschaftsstruktur<sup>54</sup>) zu verändern. Dass ein gewünschtes Ergebnis aber nicht einfach linear kausal „machbar“ ist, wissen wir aus dem Verständnis der Selbstorganisation: Der Mensch kann zwar die jeweiligen Strukturen<sup>55</sup> verändern, um innerhalb dieser eine andere emergente Qualität sich selbst organisieren zu lassen, er kann aber nicht gezielt eine Qualität direkt verändern. Das Reaktionsmodell der Selbstorganisation<sup>47</sup> mit nichtlinearen Interaktionsregeln wird durch bewusstes Eingreifen auf der Strukturebene nicht außer Kraft<sup>2</sup> gesetzt, und es gilt nach wie vor, dass nur solche Eigenschaften Bestand haben können, für die das System einen (unter verschiedenen Optionen) stabilen Attraktor<sup>38</sup> besitzt.

Wir erreichen hier in der Evolution erstmals ein System, in dem eine emergente Eigenschaft benutzt werden kann, um ihre eigenen Rahmenbedingungen so zu modifizieren, dass daraus eine andere, natürlich selbstorganisierte, Eigenschaft zum Vorschein kommt. Hier gibt es erstmals eine, wenn auch indirekte, vermittelte, Rückkopplung auf die Entstehungsbedingungen der emergenten Eigenschaft. Dies ist aber nicht ein deterministischer Prozess, da die selbstorganisierende Dynamik nicht auf ein Ziel hin modifiziert werden kann. Es muss experimentiert werden, um herauszufinden, was zum gewünschten Ergebnis führen kann, ohne dass vorab gesagt werden kann, ob dieses Ziel überhaupt unter den machbaren Bedingungen eine Option darstellt, das heißt einen Attraktor hat. Wir könnten dies auch als eine willkürliche Rückwirkung bezeichnen, die eben nicht wie eine biochemische oder physiologische Rückkopplung funktioniert.

Diese bewusst kontrollierbare Rückwirkung ist es, die die Rede vom Epiphänomen im Zusammenhang mit dem menschlichen Geist sinnlos macht und damit auch der daraus gefolgerten Behauptung, dass es keinen freien Willen gäbe, den Boden entzieht. Damit ist eigentlich die Hauptkritik an der aktuellen Hirn-Geist-Diskussion aus der Sicht der Komplexitätswissenschaft hinreichend begründet.

In der Wissenschaftsgeschichte sehen wir aber, dass ein wissenschaftliches Argument nicht hinreichend ist, um einen entsprechenden Paradigmenwechsel zu vollziehen. Das alte Paradigma ist aus verschiedenen Gründen, aber vor allem durch seine Anwendung in allen Bereichen der Wissenschaft und der Gesellschaft, gegen Veränderung sehr resistent. Selbst sein Scheitern, wie zum Beispiel in der Medizin an den chronischen Erkrankungen, ist nicht hinreichend für den Wechsel. Die Behinderung des Paradigmenwechsels durch die gesellschaftlichen Aspekte wird weiter unten thematisiert werden.

Als wissenschaftliche Bereiche, die durch ihre reduktionistischen Ansätze und deren hohem gesellschaftlichen Ansehen einen Sichtwechsel in der Hirn-Geist-Diskussion behindern, wären zwei Aspekte exemplarisch darzustellen: der Umgang mit der Emergenz von Gestalt in Darwins Evolutionstheorie und die vermutete Repräsentation des Gelernten in der Gedächtnisforschung.

### **Entstehung von Gestalt – eine neue Entwicklungsbiologie<sup>4</sup>**

Die Evolutionstheorie Darwins stellt in der Biologie seit über hundert Jahren den am häufigsten zitierten Begründungszusammenhang für die Existenz von Gestalt und Funktion dar. So fehlt er auch nicht in der neurobiologischen Hirn-Geist-Diskussion. Selbst wenn die Neurobiologen von Geist oder Bewusstsein als Epiphänomen sprechen, begründen sie deren Erscheinen immer noch mit dem Selektionsvorteil<sup>29</sup>. Der von den Darwinisten beschworene Selektionsvorteil in einer durch Mutation und Selektion geförderten Anpassung an das Habitat mit Überleben des Bestangepassten erklärt nur

die Historie der Auswahl aus Optionen. Zuerst muss aber das zu Selektierende entstanden sein. Darwins Theorie suggeriert, dass die zufällige Mutation als Erklärung für neue Gestalten und Funktionen in der Natur hinreichend ist. Mit dem Verständnis der Selbstorganisation und der stabilen biologischen Gestalt als Attraktor hat sich aus der Darwin'schen Theorie nun eine dem naturwissenschaftlichen Denken besser entsprechende Vorstellung der biologischen Evolution entwickelt. Brian Goodwin, Biologe und Mathematiker, hat die Kritik an Darwins Evolutionsmodell oder dem, was die Nachfolger daraus gemacht haben, auf den Punkt gebracht:<sup>4</sup> Wenn die Darwin'sche Evolutions-Theorie als Folge von zufälligen Mutanten verstanden wird, die von zufälligen Umweltbedingungen selektiert werden, dann ist die Biologie eine historische Wissenschaft, aber keine Naturwissenschaft. Er schildert an vielen Beispielen das neue Modell der Morphogenese,<sup>4</sup> das zeigt, dass nur die Formen realisiert werden, für die es einen stabilen selbstorganisierenden Zustand (Attraktor) gibt: Der in der fötalen Entwicklung des Menschen temporär auftretende Kiemenansatz ist ein stabiler Attraktor in der Epigenese<sup>39</sup> und nicht eine durch das Genom induzierte Rekapitulation der Phylogenese (stammesgeschichtliche Entwicklung). Auch das kohärente Aktionsmuster in der Ameisenkolonie basiert auf einem selbstorganisierenden, nichtlinearen Zusammenhang, aus dem wir durch die fraktale Eigenschaft der Dynamik (power law), zum Beispiel in der Brutpflege, auf einen Attraktor des Systems schließen können.<sup>53</sup>

Auch wenn wir verstanden haben, die Entstehung einer neuen Form<sup>53</sup> von der Selektion derselben zu trennen, ist natürlich noch nicht verstanden, was zu neuen komplexeren Formen in der Evolution Anlass gibt. So können wir heute zwar die Entwicklung kognitiver Funktionen der Spezies Homo sapiens mit einer schrittweisen Streckung des Keilbeinwinkels im Schädel<sup>56</sup> assoziieren. Was aber ist die innere Logik einer Gestaltänderung dieser Art? Das wissen wir nicht. Aber es ist zumindest klar geworden, dass es keinen zielgerichteten (teleologischen) Einfluss von außen auf die Modifikation der Keilbeinform geben kann.<sup>56</sup> Deshalb ist die neodarwinistische Anwendung des klassischen Mutation/Selektion-Modells als ein auf die Teilsysteme wirkendes (das „egoistische Gen“ von Dawkins) ein wissenschaftlicher Irrtum. Nur in der emergenten Qualität wirkt sich der Selektionsvorteil aus. Auch in der Evolutionsbiologie haben wir damit ein Beispiel für die Unmöglichkeit, aus der nichtlinearen Dynamik in der Materie auf die emergente Qualität des Ganzen gezielt Einfluss zu nehmen. Auch hier greift das Modell der willkürlichen Rückwirkung: Entsprechend der vom Bewusstsein ausgewählten Ideen im Gehirn des Menschen ist es hier die natürliche Selektion, die unter den entstandenen Formen auswählt.

Begriffe wie kausal oder determiniert sind hier also nicht angebracht. Dieser fehlende Paradigmenwechsel in den Naturwissenschaften wird auch immer dort deutlich, wo für die Ausbildung von Eigenschaften teleologische Begründungen,<sup>57</sup> ganz allgemein ein Zweck oder finalistische Argumente angegeben werden<sup>29</sup>. Das sind anthropozentrisch orientierte Vorstellungen von der Machbarkeit der Welt, die aber auf der Ebene der nichtlinearen Dynamik selbstorganisierender Prozesse grundsätzlich nicht möglich ist.

### **Gedächtnis**

Es wurde bereits dargelegt, dass es grundsätzlich keine Elementarteilchen einer Qualität, das heißt keine „Repräsentation“ einer Qualität in der Materie, geben kann. Das hat eine interessante Konsequenz bei unserer Vorstellung von Gedächtnis<sup>58</sup> als einer einigermaßen gut untersuchten Qualität des Gehirns.

Wir können zwar sehr gut den Prozess des Lernens als molekularbiologische, physiologische oder elektrochemische Veränderungen beobachten<sup>58</sup> und auch manipulieren, aber deren Produkt, das Gedächtnis, ist nicht als materielle Manifestation in Gehirnstrukturen aufzufinden. Der Versuch, das zu zeigen, ist auf allen denkbaren Ebenen erfolglos geblieben.<sup>58</sup> Das heißt, dauerhaft Gelerntes findet sich bislang allein in dem Ausdruck eines dauerhaft veränderten Verhaltens oder im Akt des Erinnerns überprüfbar wieder. Gibt es also Gedächtnis überhaupt als Entität? Ist es eine Fiktion, eine Illusion oder nur ein funktional definierter Begriff? Es ist eine Qualität, die sich nicht anders repräsentiert als in ihrer biologischen Funktion. Konsolidiertes Gelerntes (Langzeit-Gedächtnis) ist auch nur in diesem Augenblick des Erinnerns korrigierbar oder modifizierbar. Es ist schwer damit umzugehen, dass diese Eigenschaften außerhalb ihrer zeitlich begrenzten Funktion gar nicht existieren. Der Begriff „Repräsentation“, wie auch Gedächtnis, verliert so seine Bedeutung: Das Ganze ist nur durch sich selbst zum Zeitpunkt seiner Funktionalität repräsentiert. Das ist das „Gespenstische“ an einer emergenten Qualität. Das ist anders als im Computer, in dem die Information in einem adressierten

Speicher abfragbar ist. Das Gelernte im Gehirn kann dagegen nicht von anderen „ausgelesen“ werden. Hierher gehört auch die Kritik an den Interpretationen der so suggestiv wirkenden bildgebenden Verfahren:<sup>16</sup> Mögen die Untersuchungen noch so raffiniert angelegt sein, sie zeigen die Prozesse, können aber keine emergenten Qualitäten der Prozesse abbilden. Wir können damit keine Gedanken lesen<sup>16</sup> und schon gar keine daraus möglicherweise folgenden Taten ableiten.

### **Naturwissenschaftlicher Paradigmenwechsel und die Hirn-Geist-Diskussion**

Aus den Darstellungen zur Komplexitätswissenschaft wird deutlich, dass die neurobiologischen Ansätze zur Neuaufgabe des Körper-Seele-Problems nicht auf der Höhe des Wissensmöglichen, einem adäquaten naturwissenschaftlichen Kenntnisstand sein können.

Wir haben an der Funktion von Emotionen und der Selbstorganisation einer Ameisenkolonie gesehen, dass es Epiphänomene der nichtlinearen Dynamik in der materiellen Welt gibt, die so Gravierendes wie das Überleben eines Einzelwesens oder einer ganzen Kolonie begünstigen.

Mit der Erscheinung des Bewusstseins in Denken und Fühlen tritt aber eine neue Qualität in der Evolution auf den Plan: Gefühlte Emotionen werden modifizier- oder unterdrückbar, „erkannte“ Epiphänomene selbstorganisierender Prozesse können eventuell durch Veränderung der konstituierenden Strukturen vermieden werden, und selbstorganisierende Denkprozesse (auch Ideen) sind relativierbar, können verfolgt oder verworfen werden. Die geistigen Qualitäten, wie auch das Gefühl, kann also nicht als unbeeinflusstes Epiphänomen selbstorganisierender Hirnprozesse angesehen werden, sondern repräsentiert eine zusätzliche willkürliche Rückwirkung: Die antizipierte Qualität des emergenten Ganzen (zum Beispiel als Gefühl) kann benutzt werden für eine Rückwirkung auf die zur Entstehung relevanten Strukturen und kann so die eigene Realisation verhindern, bevor sie entsteht (zum Beispiel zum Handeln wird). Diese Rückwirkung ist aber nur als Einfluss auf die konstituierenden Elemente, die die selbstorganisierenden Prozesse bedingen, denkbar. Da dies, wie gezeigt, aber nicht zur Bildung einer vorab definierbaren emergenten Qualität führen kann, ist eine neue Qualität als Ergebnis nicht gezielt machbar. Hier wird der konträre Ansatz zu einer Biologie sichtbar, wie er im historischen Materialismus entstand und bis heute wirkt.<sup>8</sup>

Mit der Vorstellung von Geist als mechanistischem, unbeeinflussbarem Epiphänomen des Gehirns räumt die Möglichkeit des menschlichen Gehirns zur Selbstreflexion auf.

Die Komplexitätswissenschaft erlaubt erstmals auch die Möglichkeit, einen wechselseitigen Zusammenhang zwischen „spukendem Geist und seiner gebrechlichen Hülle“ naturwissenschaftlich zu beschreiben. Diese gezielte Modifikation von Lichtenbergs Aphorismus („das Gespenst, das in der gebrechlichen Hülle unseres Körpers spükt“)<sup>1</sup> stellt auch eine Brücke zum zweiten vorne zitierten Aphorismus<sup>21</sup> dar, in dem Lichtenberg eine selbstorganisierend klingende Version des „Ich denke“ als „Es denkt“ darstellt. Das klingt sehr modern, wäre aber im Sinne eines autonomen Epiphänomens, wie Singer es verwendet, falsch: Dass das „Es“ in Lichtenberg „Es denkt“ sagen kann, hört sich doch eher nach „Ich, Lichtenberg, habe gedacht“ an.

Das Verständnis von Bewusstsein stellt eine auch weiterhin bleibende Herausforderung an den menschlichen Geist dar. Stanislaw Lem hat das im Bewusstsein versteckte Paradox meisterhaft artikuliert als „jenes Merkmal eines Systems, das man erkennt, wenn man selbst jenes System ist“.<sup>59</sup>

Wir haben gesehen, dass Begriffe wie „determiniert“<sup>60</sup> oder „kausal“ in Bezug auf die emergente Qualität keinen Sinn ergeben. Es bleibt zu fragen, was wir mit dem Begriff des Hirn-Geist-Dualismus noch meinen können. Die historische Bedeutung des Dualismus als eines Begriffs für das Leib-Seele-Problem stellt Friedrich Beck<sup>25</sup> sehr klar heraus. In seinem eigenen Lösungsversuch mit einer Physikalisation der Biologie bleibt er aber immer noch in den reduktionistischen Vorstellungen eines überholten Paradigmas. Erst die Komplexitätswissenschaft bietet eine naturwissenschaftliche Auflösung dieser Verständnisblockade und macht einen Begriff Hirn-Geist-„Dualismus“ bedeutungslos. Aus der Nichtreduzierbarkeit der emergenten Qualität wird deutlich, dass der Geist nur mit geisteswissenschaftlichen Methoden untersucht werden kann, also mit Methoden, die ihn als Ganzes, als Qualität untersuchen und interpretieren lassen. Die naturwissenschaftlichen Betrachtungen von Qualitäten<sup>53</sup> in der Komplexitätswissenschaft mögen wieder eine Brücke zwischen Philosophie und Naturwissenschaften, die seit der Renaissance getrennt waren, sichtbar machen. Aber welches Unsinn, den Primat der Neurowissenschaften über die Geisteswissenschaften zu formulieren!<sup>23</sup> Die Rolle der Komplexitätswissenschaften und das Verständnis des Zusammenhangs von Quantität und Qualität ist glücklicherweise bedeutender für die Praxis wissenschaftlicher Tätigkeiten als dies die

reduktionistische neurobiologische Diskussion vermuten lässt. Die Anwendung des Selbstorganisations-Konzeptes in verschiedensten Wissenschaftsgebieten von der Astrophysik,<sup>61</sup> Soziologie,<sup>54</sup> Psychologie,<sup>15</sup> Philosophie,<sup>49</sup> Medizin,<sup>41</sup> Ökonomie,<sup>33</sup> Theorie der Geschichte<sup>62</sup> bis zur Religionswissenschaft<sup>63</sup> verstärkt diesen Eindruck. Dass es sich gar um einen generellen wissenschaftlichen Paradigmenwechsel handelt, der Anlass für eine Weltbild-Diskussion ist, wird vom Astrophysiker Gerhard Börner („Schöpfung ohne Schöpfer“<sup>61</sup>) thematisiert. Inwieweit die Komplexitätswissenschaft eine ähnliche Rolle für die Biologie<sup>53</sup> spielen wird, wie dies die Quantenphysik für die Physik vor hundert Jahren tat, bleibt abzuwarten. Anders als die Physik stellt die Biologie mit Teilgebieten wie Medizin oder Ökologie einen unmittelbaren Erfahrungs-, aber auch Verwertungs-Zusammenhang in unserer Gesellschaft dar. Es ist also wiederum wahrscheinlich, dass, wie schon oft in der Geschichte, der Durchbruch des neuen Paradigmas nicht von der wissenschaftlichen Erkenntnis abhängt, sondern erst dann passiert, wenn es die weltanschaulichen und heutzutage besonders die ökonomischen Argumente<sup>64</sup> erlauben oder gar als notwendig erscheinen lassen.

- 1 SB 1, F 324; Thema der Jahrestagung der Lichtenberg-Gesellschaft 2006 in Ober-Ramstadt. Der vorliegende Beitrag basiert auf meinem Beitrag auf dieser Jahrestagung. Mein besonderer Dank gilt Katja Ubbelohde, Göttingen, für viele anregende Gespräche und Kritik. Den Herausgebern, Ulrich Joost und Heinrich Tuitje, danke ich für die inhaltlich hilfreichen Kommentare und die Mühen, aus dem Manuskript einen lesbaren Text zu machen. – Die Aufnahme dieses Aufsatzes ins Jahrbuch ist eine letzte Verneigung der Herausgeber vor Astrid Lichtenberg, deren Denken und Diskutieren in ihrem letzten Lebensjahrzehnt immer wieder um die hier behandelten Probleme, vor allem mit Blick auf Georg Christoph Lichtenberg, kreiste (Red.).
- 2 Paradigmenwechsel: Wechsel der Lehrmeinung, der aber so umfassend sein kann, wie der Wechsel vom geozentrischen zum heliozentrischen Kosmologiemodell zu Kopernikus' Zeiten oder der Wechsel in der Physik von der klassischen Newton'schen Physik zur Quantenmechanik und Relativitätstheorie. Im ersten Fall wird die alte Theorie durch die neue als falsch erkannt und im zweiten Fall wird die alte Theorie zum begrenzt gültigen Sonderfall in der neuen Theorie.
- 3 John Briggs und F. David Peat: *Die Entdeckung des Chaos. Eine Reise durch die Chaos-Theorie*. München 1997.
- 4 Brian C. Goodwin: *Der Leopard der seine Flecken verliert. Evolution und Komplexität*. München 1997 oder als neuere Ausgabe *How the Leopard Changed Its Spots: The Evolution of Complexity*. Princeton 2001.
- 5 Christian Geyer (Hrsg): *Hirnforschung und Willensfreiheit. Zur Deutung der neuesten Experimente*. Frankfurt am Main 2004.
- 6 Ebd., 30-65. Wolf Singer: *Verschaltungen legen uns fest: Wir sollten aufhören, von Freiheit zu sprechen*.
- 7 Ebd., 218-222. Gerhard Roth: *Wir sind determiniert. Die Hirnforschung befreit von Illusionen*.
- 8 Gerald Hüther: *Biologie der Angst. Wie aus Stress Gefühle werden*. Göttingen 1999.
- 9 Thomas Metzinger: *Subjekt und Selbstmodell: die Perspektivität phänomenalen Bewusstseins vor dem Hintergrund einer naturalistischen Theorie mentaler Repräsentation*. Paderborn 1999.
- 10 Werner Siefer und Christian Weber: *Ich – wie wir uns selbst erfinden*. Frankfurt 2006.
- 11 Eberhard Schockenhoff: *Wir Phantomwesen. Über zerebrale Kategorienfehler*. In: Geyer (wie Anm. 5), 166-170.
- 12 Gerburg Treusch-Dieter: *Das ist die Dummheit dieser Forschung*. Interview mit Fabian Kröger, Die Tageszeitung (TAZ). Berlin vom 2. 9. 2006.
- 13 Reduktionismus ist im Wesentlichen die Weltsicht eines Uhrmachers. Eine Uhr lässt sich auseinander nehmen und in ihre Bestandteile wie Zahnräder, Hebelchen, Federn und Triebwerk zerlegen. Sie lässt sich aus diesen Teilen auch wieder zusammensetzen. Der Reduktionismus stellt sich die Natur als etwas vor, was sich zusammensetzen und auseinander nehmen lässt. Reduktionisten glauben, dass auch die komplexesten Systeme aus atomaren und subatomaren Entsprechungen von Federn, Zahnrädchen und Hebeln bestehen, die die Natur auf unendlich vielfältige, geniale Art kombinierte. Zum Reduktionismus gehörte jene recht simple Sicht des Chaos, wie sie sich in Laplace' Traum (Laplace'scher Dämon) von einer universellen Formel offenbart. Chaos war einfach Komplexität so hohen Grades, dass Forscher ihr praktisch nicht nachgehen konnten. Aber man fühlte sich sicher, dass man dies eines Tages doch tun könnte. Und wenn dieser Tag käme, dann gäbe es kein Chaos mehr, sondern sozusagen nur noch Newtons Gesetze (wie Anm.3), 25-26.
- 14 Rainer Paslack: *Urgeschichte der Selbstorganisation. Zur Archäologie eines wissenschaftlichen Paradigmas*. Braunschweig, Wiesbaden 1991, 91-133. S. Anm. 15.
- 15 Günter Küppers: *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Stuttgart 1996. Hierin ist auch der Ansatz von Günter Schiepek für den Bereich der Psychologie richtungweisend.
- 16 Bildgebende Verfahren in den Neurowissenschaften. Das seit 80 Jahren bekannte Elektroenzephalogramm (EEG) wurde in den letzten Jahrzehnten durch Computertomogramm, Positronenemissions-Tomographie, Kernspin-Tomographie und funktionelle Magnetfeld-Tomographie erweitert. Mit diesen Verfahren wird direkt sichtbar, welche Hirnareale wann aktiv sind, z. B. im Laufe einer Aufgabe, die der untersuchte Proband oder Patient durchführt. Diese Art der Information ist oftmals nicht viel anderes, als wenn man einen Infrarot-Detektor vor ein Radio hinstellt, um festzustellen, wo es warm wird, d.h. wo Radio-Teile durch die Funktion erhitzt werden. Man kann daraus nicht ableiten, ob Musik, ein Vortrag oder gerade Rauschen übertragen wird. Vgl. Henrik Walter: *Können Hirnforscher Gedanken lesen?* In: *Psychologie Heute*. 12,2003, 64-69.
- 17 Der evangelische Theologe, Philosoph und Schriftsteller Johann Caspar Lavater (1741-1800) versuchte in seinem Hauptwerk *Physiognomische Fragmente* nachzuweisen, dass die Form der äußeren Teile des Menschen, besonders des Gesichtes, Aussagen über dessen Charakter zulasse.
- 18 SB I, F 521.
- 19 Manfred Velden: *Biologismus – Folge einer Illusion*. Göttingen 2005, 8.
- 20 Die Abteilung wurde von Sommersemester 1980 bis Wintersemester 1981/82 formal unter dem Titel „Funktionelle und stereotaktische Neurochirurgie“ geführt. Hinter dem Begriff stereotaktisch verbarg sich implizit das Arbeitsgebiet Psychochirurgie von Prof. Gert Dieckmann. Nach dem gerade noch verhinderten Versuch einen pädophilen Lehrer zu operieren, hat eine inter fakultative Arbeitsgemeinschaft von Assistenten mit einem Antrag an die Ethikkommission mit Unterstützung der studentischen Presse die inner fakultative Diskussion angeschoben. Dass diese Göttinger Geschichte keine Einzelercheinung der 70er-Jahre war, belegt die Einsetzung einer Kommission des BGA zu diesem Thema unter dem Vorsitz des Frankfurter Sexualwissenschaftlers Volkmar Sigusch: *Medizinische Experimente am Menschen. Das Beispiel*

- Psychochirurgie*. Beiwerk des Jahrbuchs für kritische Medizin. Bd 2. Berlin 1977. Neuauflage *Argument-Studienheft* 12. Berlin 1978. Vgl. auch zur Vorgeschichte der Göttinger Psychochirurgie und deren Kontexte: Volkmar Sigusch: *Geno- und Psychochirurgie. Bemerkungen zur Logik der modernen Medizin*. In: *Psychosomatik in der Chirurgie. Integrierte Chirurgie – Theorie und Praxis*. Hrsg. B. Hontschik und Th. v. Uexküll. Stuttgart, New York 1999, 78-108.
- 21 SB I, K76.
- 22 Holk Cruse: *Ich bin mein Gehirn. Nichts spricht gegen den materialistischen Monismus*. In : Geyer (wie Anm. 5), 23-28.
- 23 Wolf Singer: *Wer deutet die Welt?* In: Wolf Singer : *Ein neues Menschenbild?* Frankfurt am Main 2003, 9-23.
- 24 Wolf Singer: *Der Beobachter im Gehirn. Essays zur Hirnforschung*. Frankfurt am Main 2003.
- 25 Friedrich Beck: *Ich denke oder es denkt – Lichtenbergs Reflexionen über das Denken im Licht der modernen Hirnforschung*. In: *Lichtenberg-Jahrbuch 2002*, 7-24.
- 26 Roger Penrose: *The Large, the Small and the Human Mind*. Cambridge 1999.
- 27 Center for Consciousness studies. The University of Arizona, Tucson Arizona: [www.consciousness.Arizona.edu](http://www.consciousness.Arizona.edu).
- 28 Christof Koch and Klaus Hepp: *Quantum mechanics in the brain*. In: *Nature* 440, 2006, 611-612.
- 29 Singer argumentiert im Zusammenhang mit der erzieherischen Beeinflussung von Verbrechern: „Ich muss daran arbeiten, diejenigen Attraktoren in seinem Gehirn zu stärken, die die fragliche Tötungsschwelle höher setzen würden“. (wie Anm. 23), 34. Einen Attraktor in der Komplexitätswissenschaft kann man nicht „stärken“, das heißt modifizieren. Dann wäre es kein Attraktor. Ein weiteres Beispiel zeigt die Vorstellung vom genetischen Determinismus, die der biologischen Selbstorganisation widerspricht: „Genetische Dispositionen können Verschaltungen hervorgebracht haben, die das Speichern oder Abrufen sozialer Regeln erschweren...“ (wie Anm.6), 63 oder „Koordiniertes Verhalten und kohärente Wahrnehmung müssen als emergente Qualitäten oder Leistungen eines Selbstorganisationsprozesses verstanden werden...Zu klären wie diese Koordination erfolgt, ist eine der großen Herausforderungen...“ (wie Anm. 24), 67. Wird hier wieder der Koordinator in die Selbstorganisation eingeführt? Dann ist das so genannte Bindungsproblem ein wissenschaftstheoretischer Irrtum. Unter Emergenz von neuen Qualitäten versteht Singer den evolutionären Prozess: „Die hochspezifische Architektur der Gehirne verdankt sich evolutionären Selektions- und Anpassungsprozessen...“ (wie Anm. 24), 89 oder „Es (das Bewusstsein, der Verf.) muss für das Überleben einen Vorteil gebracht haben, sonst hätte es sich nicht entwickelt.“ (wie Anm. 23), 58. Dies ist ein typisch teleologisches Argument.
- 30 Antonio R. Damasio: *Der Spinoza-Effekt. Wie Gefühle unser Leben bestimmen*. Berlin 2005.
- 31 Gregory Nicolis and Ilya Prigogine: *Self-organization in non-equilibrium systems: From dissipative structures to order through fluctuations*. New York 1977.
- 32 Manfred Schröder: *Fraktale, Chaos und Selbstähnlichkeit*. Heidelberg 1994.
- 33 Benoit B. Mandelbrot: *Die fraktale Geometrie der Natur*. Basel 1991.
- 34 Heinz-Otto Peitgen und Hartmut Jürgens: *Fraktale: Computereperimente (ent)zaubern komplexe Strukturen*. In: *Ordnung und Chaos in der unbelebten und belebten Natur*. Hrsg. von Wolfgang Gerok. Stuttgart 1989, 123-152
- 35 Manfred Eigen: *Self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules*. In: *Naturwissenschaften* 58, 1971, 465 f.
- 36 Selbstähnlichkeit (s. Anm. 33). Die in verschiedenen Größenordnungen einer Gestalt gefundene Ähnlichkeit wird als Selbstähnlichkeit oder Skalen-Invarianz bezeichnet. Diese spezielle Symmetrie durchzieht die gesamte Natur und ist Basis der fraktalen Geometrie (s. Anm. 33). Das Romanesco-Gemüse stellt ein auf jedem Gemüsemarkt zugängliches anschauliches Beispiel dar. Selbstähnlichkeit ist eine wichtige Eigenschaft komplexer Systeme mit nichtlinearer Dynamik. Sie ist auch die Voraussetzung für die Rekonstruktion im Zustandsraum (s. Anm. 40) und wird als ein zentrales Ergebnis der Auswertung mit nichtlinearen Auswerteverfahren gefunden.
- 37 Nichtlineare Funktion. Der Unterschied zwischen linearen und nichtlinearen Gleichungen ist die Rückkopplung, d.h. in nichtlinearen Gleichungen gibt es Terme, die wiederholt mit sich selbst multipliziert werden, z.B. in Abb. 2 durch den entstehenden quadratischen Term ( $x \cdot x = x^2$ ) charakterisiert. In Abb. 2 ( $x_{n+1} = r x_n (1 - x_n) = r (x_n - x_n^2)$ ) wird deutlich, wie in einer nichtlinearen Gleichung die winzige Änderung einer Variablen (r) eine völlig unverhältnismäßige, ja katastrophale Wirkung auf eine andere Variable (x) hat. Mathematisch ist diese Gleichung in Abb. 2 eine der einfachsten nichtlinearen Funktionen.
- 38 Attraktor (basin of attraction) ist der Bereich im Zustandsraum (s. Anm. 40), der die Zustandsfolgen aller möglichen Anfangsbedingungen einer Funktion einschließt (sozusagen anzieht). Ein Organismus, der trotz „lokaler Fluktuation“ (Austausch aller konstituierenden Elemente) eine „globale“ Stabilität (Erhalt der Gestalt oder Funktion) hat, hat einen Attraktor: Ein lebender Organismus existiert fernab des chemischen (thermodynamischen) Gleichgewichts und wird durch die (z.B. deterministischen) Wechselwirkungen seiner Elemente als Gesamtsystem stabil gehalten. Stuart Kauffman (s. Anm. 47) lieferte ein entwicklungsbiologisches Beispiel für die Vielzahl stabiler Attraktoren des Genoms: Die Zahl der stabilen Regelzustände (Attraktoren), die ein Keimbahn-Genom haben kann, entspricht etwa der Quadratwurzel aus der Zahl seiner einzelnen Gene. Beim Menschen mit etwa 40000 Genen gibt es danach ca. 200 stabile Regelzustände. Diese Zahl entspricht etwa der Zahl verschiedener Zelltypen im menschlichen Körper (Leberzelle, Nervenzelle etc.). Der einzelne Zelltyp kann damit als ein Attraktor des Keimbahn-Genoms interpretiert werden. Diese



Vorstellung von der Selbstorganisation stabiler Zustände wird durch Entwicklungsstudien an der Fliege *Drosophila*, dem Lieblingstier der experimentierenden Biologen gestützt (Christiane Nüsslein-Volhard: *Die Neubildung von Gestalten bei der Embryogenese von Drosophila*. In: *Horizonte. Wie weit reicht unsere Erkenntnis heute?* Hrsg. von Günter Wilke. Stuttgart 1993, 261-274). In den durch Bestrahlung experimentell produzierten Missbildungen gibt es Formen, die immer wieder auftreten. Manche dieser Formen lassen sich auch dadurch produzieren, dass während der Segmentierungsphase der Larven diese Organismen unter Äther gehalten werden. Ob als genetische Modifikation (Mutante) oder als Entwicklungsstörung ohne genetische Fixierung, es entsteht dieselbe (Miss-) Gestalt. Man könnte sagen: Die Gestalt stellt einen stabilen Zustand in der Entwicklung als eine Option dar. Einer aus verschiedenen möglichen Attraktoren des Systems wurde realisiert.

39 Epigenese: Der stabile Zustand einer, auch temporären, Entwicklungsphase ist Ausdruck der selbstorganisierenden inneren Mechanismen (Epigenese), nicht der einer vom Genom gesteuerten Form. Es liegt ganz im Trend der Gentechnokraten, die Epigenese (von genesis!) als Epigenetik misszuverstehen, d.h. eine genetische Steuerung zu suchen, wo es sich um einen räumlich-zeitlichen Selbstorganisationsprozess handelt. Eine Konsequenz dieser Sicht ist eine systemtheoretisch begründete Unmöglichkeit einer gezielten Gentherapie, die in der Tat trotz des großen wirtschaftlichen Erfolgsdruckes nicht in einem einzigen Fall bislang gelungen ist.

40 Hansotto Reiber: *Die Komplexität biologischer Gestalt als Konstrukt im Zustandsraum. Zum naturwissenschaftlichen Umgang mit Qualitäten*. In: *Raumkonstruktion und Raumerfahrung*. Hrsg. von Doris Zeilinger. *VorSchein* Nr 29. *Jahrbuch 2007 der Ernst-Bloch-Assoziation*. Volltext unter [www.horeiber.de](http://www.horeiber.de). S. Anm. 41.

41 Wolfgang Gerok: *Ordnung und Chaos als Elemente von Gesundheit und Krankheit*. In: *Ordnung und Chaos in der unbelebten und belebten Natur*. Hrsg. von Wolfgang Gerok. Stuttgart 1989, 19-41. Vgl. Ari L. Goldberger and D.R. Rigney: *On the nonlinear motions of the heart: fractals, chaos and cardiac dynamics*. In: A. Goldbeter: *Cell to Cell signalling*. London 1989, 541-550.

42 Holger Kantz: *Nichtlineare Zeitreihenanalyse in der Physik. Möglichkeiten und Grenzen*. In: *Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft*. Hrsg. von Klaus Mainzer. Berlin 1999, 74-88.

43 Marc-Thorsten Hütt: *Datenanalyse in der Biologie*. Berlin 2001. Es gibt im Wesentlichen drei verschiedene praktikable Verfahren: Doppelt-Logarithmischer Plot (Abb. 3), Phasenporträt im Zustandsraum (Umkehrplot, s. Anm. 40) und die Approximierte Entropie (s. Anm. 40). Für eine nichtlineare Auswertung einer Zeitreihe (Abb. 3) darf deren Wertefolge nicht verändert werden. Lineare Statistik findet dagegen keinen Unterschied, ob die Wertefolge vertauscht wird oder nicht.

44 Medizin. Bei den chronischen Erkrankungen (s. Anm. 45), die den größten Teil der Erkrankungen in Europa und den USA ausmachen, bleibt die medizinische Wissenschaft bezüglich des Verständnisses der Entstehung und auch bezüglich einer kausalen Therapie völlig erfolglos. So wird zum Beispiel in der derzeitigen Krankheitsforschung (s. Anm. 45) die Suche nach der Ursache häufig auf die Suche nach genetischen Defekten reduziert. Diese Reduktion auf Elemente (Gene, Zellen) geht mit drei simplen Fragen einher: Ist im Organismus ein Element zu wenig (Insulin beim Diabetes), ein Element zu viel (Autoantikörper bei Autoimmun-Krankheiten) oder ist ein Element verändert (beta-Amyloid Struktur bei der Alzheimer-Erkrankung)? So wie im Versuch, eine Eigenschaft zu verstehen, nach Elementarteilchen in der Materie gesucht wird, wird auch bei der Erkrankung nach dem einen Fehler geforscht. Der neue Ansatz der Komplexitätswissenschaft hat die Fragestellung verändert und kann hier eine relevantere diagnostische Information liefern und auch völlig neue Modelle (s. Anm. 45) der Therapieforschung entwickeln, die jenseits einer bislang rein symptomorientierten Behandlung liegen. (Bei plötzlich entstandenem, stabilem Bluthochdruck wird der Istwert durch Medikation gesenkt. Es wird aber nicht die innere Regulation (Zielwert) zu einem niedrigeren Wert geändert, das System bleibt trotz Behandlung im selben, pathologischen Attraktor.

45 Hansotto Reiber: *Die Entstehung von Form und Krankheit. Selbstorganisation oder genetisches Programm – zwei Paradigmen im Widerstreit*. In: *Ethik der Biowissenschaften*. Hrsg. von Engels, Junker & Weingarten. Berlin 1998, 393-410. Volltext in [www.horeiber.de](http://www.horeiber.de).

46 *Fraktale Dimension* (s. Anm. 32 und 33) ist ein Maß, das die Komplexität eines Attraktors (s. Anm. 38) numerisch charakterisiert. In der Natur sind keine geraden Linien (Dimension = 1) oder ebene Flächen (Dimension = 2) zu finden. Es gibt nur gebrochene, d. h. fraktale oder eben nicht ganzzahlige Dimensionen (z.B. 1,2; 2,8; 7,4 etc.). Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Dimensionsbegriffe, die eine fraktale Dimension charakterisieren (s. Anm. 33).

47 Selbstorganisation beschreibt die spontane Entstehung von Ordnung durch Interaktion der konstituierenden Elemente eines chemischen, biologischen oder physikalischen Systems. Selbstorganisation wird hier einfach als ein Mechanismus der Entwicklungsprozesse in der belebten und unbelebten Natur verstanden, der nicht zielorientiert (teleologisch, s. Anm. 57) und auch nicht gesteuert (kreationistisch) wirkt. Das Verständnis von Selbstorganisation ist durch die Arbeit von Ilya Prigogine (s. Anm. 31) geprägt, der die zeitliche Entwicklung von dissipativen Strukturen fernab des Gleichgewichts als Selbstorganisation begreift. Diese Vorstellung entwickelte sich erst langsam (s. Anm. 14) in der Kommunikation mit anderen Forschern, wie z. B. Manfred Eigen (s. Anm. 35). Die BZ-Reaktion in Abb. 4 ist ein normatives Beispiel für Selbstorganisation.

48 Stuart Kauffman: *At home in the universe. The search for the laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford

1995.

49 Douglas Griffin: *The Emergence of Leadership: Linking Self-Organization and Ethics*. London; New York 2002. Griffins Buch bezieht sich auf Hegels Sicht der Selbstorganisation und der Reinterpretation durch G. H. Mead.

50 Ludwig Wittgenstein: *Tractatus logicus* 1922, 4. 121. Vgl. *Ludwig Wittgenstein-Wiener Ausgabe. The big Typescript*. Hrsg. von Michael Nedo. Frankfurt am Main 2000.

51 Arthur T. Winfree: *Rotating chemical reactions*. In: *Scientific American* 1974, 230, 82-95.

52 Auch bei der Erregung entlang eines Nervs (Axon einer Nervenzelle) folgt der Erregungswelle (Aktionspotential) immer eine Erregungspause (Erholungszeit, Refraktärphase), in der keine neue Erregung entstehen kann.

53 Brian Goodwin: *Nature's Due. Healing our fragmented Culture*. Edinburgh 2007.

54 Norbert Elias: *Die Gesellschaft der Individuen*. Frankfurt am Main 2001. S. Anm. 55.

55 Patricia Shaw: *Changing Conversations in Organizations. A complexity approach to change*. London; New York 2002.

56 Wissenschaftler gehen heute davon aus, dass in der Evolution des Menschen mit der Streckung des Keilbeins, eines Schädelknochens, und der damit verbundenen Veränderung der Schädel/Kiefer-Relation ein neuer Schub der Hirnentwicklung zu assoziieren ist, der wohl mit zunehmend höheren kognitiven Leistungen einhergeht. Entwicklung des Geistes als Konsequenz einer Keilbeinveränderung?

57 Allgemein bedeutet eine teleologische Begründung immer, dass es ein vorgegebenes Ziel, einen Zweck und damit eine steuernde Kraft geben muss, die aber im Gegensatz zur Selbstorganisation stehen würde. Historisch wird der teleologische Gedanke mit Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955) verbunden. Er steht mit seinem Werk für die teleologische, zielgerichtete Evolution. Als gläubiger Jesuit nennt er Christus mit einem biblischen Hoheitstitel das [Omega](#) oder den „Punkt Omega“, das heißt Ziel, Richtung und Motor der Evolution.

58 Gedächtnis. Noch vor 40 Jahren wurde über ein Gedächtnismolekül als materielle Repräsentation des Gelernten geredet und geforscht. Mit der wachsenden Kenntnis über neurobiologische Zusammenhänge wurde es möglich, den Weg eines Lernprozesses mit seinen biochemischen und physiologischen Details im Gehirn zu verfolgen. So wurden Hirnareale beschreibbar, die nötig sind, um zu lernen, und wieder andere Areale, die nötig sind, um zu erinnern. Auch synaptische Veränderungen wurden dokumentiert. Die Entdeckung integrierender Mechanismen wie Hebb-Synapse und Langzeitpotenzierung oder der Nachweis veränderter EEG-Muster im Riechhirn beim Geruchslernen können aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass es keine materiell oder örtlich bestimmbare Repräsentation von Gelerntem im Gehirn gibt. Wir kennen Unterschiede zwischen Kurzzeit- und Langzeit-Stabilität des Gelernten und können semantische und episodische Komponenten trennen. Dass jedes Erinnern gar eine Modifikation des Gedächtnisses bewirkt, also ein Neulernen beinhaltet und so Gedächtnis zu einer sehr fragilen Angelegenheit macht, zeigt auch deutlich den Unterschied zum Speichern im Computer. Vgl. Steven Rose: *The Making of memory. From molecules to mind*. London 1995.

59 Stanislaw Lem: *Golem XIV*. Frankfurt am Main 1978, 89-194. Lem schrieb dieses Zitat in *Golem XIV*, in seinem Versuch einen Automaten zu beschreiben, der dem Menschen überlegen ist.

60 Determinismus. Es macht keinen Sinn, die emergente Gestalt eines Systems durch dessen materielle (evtl. deterministische) Interaktionen als determiniert zu bezeichnen, wenn durch die selbstorganisierte Entwicklung aus vielen möglichen Attraktoren eines Systems entwicklungs- oder umweltbedingt nur einer realisiert wird, der dann wieder einen neuen Weg der Entwicklung einschlagen lässt. Siehe auch Gerhard Kaiser: *Warum noch debattieren? Determinismus als Diskurskiller* (wie Anm. 5), 261-267.

61 Gerhard Börner: *Schöpfung ohne Schöpfer? Das Wunder des Universums*. München 2006.

62 Markus Völkel: *Wohin führt der „neuronal turn“ die Geschichtswissenschaft?* In: Geyer (wie Anm. 5), 140-142.

63 Friedrich Wilhelm Graf: *Brain me up! Gibt es einen neurobiologischen Gottesbeweis?* In: Geyer (wie Anm. 5), 143-147.

64 Der fehlende Paradigmenwechsel hat verschiedene nichtwissenschaftliche Gründe. Ein Grund ist der seit über hundert Jahren andauernde Siegeszug der Technologie, als Ausdruck einer Naturwissenschaft, die auf dem (linearen) Ursache-Wirkungs-Prinzip und der Voraussagbarkeit von Zuständen beruht. Beispiele einer analogen, technologischen Machbarkeitsvorstellung finden wir seit Jahrzehnten in der Medizin (s. Anm. 44), in *Gentechnologie* und *Biotechnologie*. Der ökonomische Verwertungsdruck für naturwissenschaftliche Erkenntnis bewirkte, dass Biotechnologie in vielen universitären Bereichen die finanziell unabhängige Grundlagenforschung ersetzt. Da die medizinische Forschung in zunehmendem Maße von der Industrie finanziert wird, ist das Erkenntnisinteresse auch hier verstärkt verwertungsorientiert. Die Auswahl der von der Industrie geförderten Projekte wird klar vom Kriterium der Gewinnmaximierung dominiert: Impfstoffentwicklung für Tropenkrankheiten ist weniger interessant als die Entwicklung von Medikamenten, die bei chronisch Kranken über längere Zeiträume gebraucht und verkauft werden.