

IST BEWUSSTSEIN ETWAS NEUES UNTER DER SONNE? PANPSYCHISMUS UND NEUROWISSENSCHAFTEN

Peter Jedlička

Metaphysik und Naturwissenschaft

Bevor man das Geist-Gehirn-Problem aus dem naturwissenschaftlichen Blickwinkel angeht, ist es wichtig zu realisieren, dass diese Problematik die Grenzen der Naturwissenschaft erreicht (siehe unten die Diskussion über die Selbstbezüglichkeit der Bewusstseinstheorien). Aus der Sicht der (nicht-positivistischen) Wissenschaftstheorie kann man sagen, dass die Fragen, die unsere Identität, Bewusstsein und Willensfreiheit betreffen, über die Physik hinausgehen (meta) – es handelt sich also um meta-physische (philosophische) und keine rein naturwissenschaftlichen Probleme. „Das Problem des Bewusstseins bildet heute - vielleicht zusammen mit der Frage nach der Entstehung unseres Universums - die äußerste Grenze des menschlichen Strebens nach Erkenntnis.“ (Metzinger, 1995)

Von Francis Crick, dem Biochemiker und Nobelpreisträger, stammt das berühmte Zitat: "Ihre Freuden und Sorgen, Ihre Erinnerungen und Ambitionen, Ihr Gefühl persönlicher Identität und freien Willens sind eigentlich nicht mehr als das Verhalten einer Ansammlung von Nervenzellen und der zugehörigen Moleküle." (Crick, 1994, 3) Wenn ein Wissenschaftler sagt, dass wir nichts anderes als eine determinierte neuronale Maschine sind, spricht er - wissenschaftstheoretisch gesehen - nicht mehr als rein empirischer Forscher sondern als Philosoph – auch wenn ihm das manchmal nicht bewusst ist. Den starken physikalischen Reduktionismus, der die mentalen Ereignisse als rein physische Ereignisse wegerklären möchte, erkennt man an dem Nichts-mehr-als- oder Nichts-anderes-als-Jargon („nothingelsebuttery“): psychische Zustände sind „nichts anderes als“ („nothing else but“) physische Zustände. Es ist sehr wichtig, den wesentlichen Unterschied zwischen einem methodologischen (naturwissenschaftlichen) und ontologischen (metaphysischen) Reduktionismus zu sehen. Reduktionismus ist eine erfolgreiche und deswegen sehr wertvolle wissenschaftliche Methode, die uns erlaubt, komplexe Prozesse durch einfachere grundlegende Mechanismen zu verstehen. Wenn aber nach (auch teilweise erfolgreichen) reduzierenden Versuchen eine Erklärungslücke, ein ungeklärter Rest (z.B. Qualia) bleibt, sollten wir vorsichtig sein und keine voreiligen Schlüsse ziehen, dass alle mentalen Ereignisse „nichts anderes als“ neurale Ereignisse sind (Jedlicka 2005, 172). Die Tatsache, dass wir psychische Phänomene empirisch studieren können, impliziert nicht, dass sie völlig auf eine niedrigere ontologische Stufe reduzierbar sind. (Der Erfolg der reduktionistischen Forschung zeigt allerdings umgekehrt die Unzulänglichkeit antiwissenschaftlicher Behauptungen, dass die Naturwissenschaft gar nicht zur Erklärung der Psyche beitragen kann.) Der metaphysische Reduktionist kann natürlich glauben, dass das reduktionistische Programm eines Tages auf hundert Prozent gelingt. Der ontologische Reduktionismus ist allerdings jetzt noch nicht rechtfertigt.

Außerdem wurden mehrere logische, empirische und philosophische Gründe vorgeschlagen (siehe unten), um die Idee zu unterstützen, dass das Selbstbewusstsein ein emergentes Phänomen ist, das sich nicht völlig auf die niedrigeren ontologischen Ebenen reduzieren lässt.

Panpsychismus

Panpsychismus ist ein interessanter Versuch einen Ausweg aus dem Konflikt zwischen dem physikalischen Reduktionismus (Physikalismus) und dem Dualismus zu finden. Die panpsychistischen Theorien verstehen die mentalen Zustände und Ereignisse als eine fundamentale Eigenschaft aller physikalischen Dinge. Im Panpsychismus werden die psychischen Eigenschaften nicht als emergente Eigenschaften, die im Laufe der Evolution entstehen, sondern als schon immer existierende Aspekte der physikalischen Welt gesehen. Das panpsychistische Motto lautet: „Es gibt nichts Neues unter der Sonne“ (Popper, 1982, 36). Die meisten Varianten des Panpsychismus (z.B. der Panprotopsychismus) gehen davon aus, dass sich der psychische Aspekt in der Entwicklung des Universums graduell verwirklicht – von primitiven protomentalen Zuständen zu immer mehr komplexen kognitiven Zuständen. Den Elementarteilchen oder den einfachsten Lebewesen wird eine primitive Empfindungsfähigkeit oder ein Protobewusstsein zugeschrieben. Erst später in der Evolution werden Gefühle, Gedanken und Bewusstsein der Materie (vor allem dem menschlichen Gehirn) zugewiesen. Eine panpsychische kontinuierliche und gleichzeitig graduelle Evolution der kognitiven Eigenschaften scheint auf den ersten Blick gut mit der graduellen biologischen Evolution vereinbar zu sein. Daher stellt sich die Frage: Was können wir über die kognitive Evolution und damit zusammenhängende Gehirnfunktionen aus der modernen neurowissenschaftlichen Forschung lernen? Was können wir über den Panpsychismus im Kontext der Neurobiologie sagen?

Kognitive Biologie und epistemische Komplexität

Die Vertreter des Panpsychismus glauben, dass es (proto)psychische Prozesse schon immer gab. Deswegen sehen sie die Evolution des Bewusstseins als eine Entfaltung von etwas, das bereits am Anfang der biologischen Evolution bereits da gewesen ist. Im Kontext der Evolution ist es hilfreich, die (prä)psychischen Eigenschaften etwas genauer als kognitive Eigenschaften zu definieren: Der Begriff der **Kognition** (lat. *cognoscere*: „erkennen, erfahren, kennenlernen“) bezeichnet die Fähigkeit von Organismen, Informationen zu verarbeiten und Erkenntnisse über die Umgebung zu gewinnen. Nicht alle kognitiven Prozesse sind bewusst. Bestimmte Fertigkeiten wie z.B. Schwimmen oder Fahrradfahren erlernt man grösstenteils unbewusst (implizites Lernen).

Die Anpassung des Lebens an seine Umgebung kann man als eine Art von Erkenntnis ansehen. Zwischen der Amöbe und Einstein gibt es in dieser Hinsicht eine interessante Ähnlichkeit: beide

gewinnen ihr Wissen und ihre Erkenntnisse über die Umwelt durch Versuch und Irrtum. „Alle Organismen sind Problemlöser.“ (Popper, 1987, 23) Es gibt allerdings einen bedeutenden Unterschied: während die Amöbe stirbt, wenn sie sich irrt, lässt Einstein seine Theorien sterben, wenn er sie als falsch identifiziert. Die sogenannte **kognitive Biologie** betont diesen evolutionären Aspekt des Lernens. Sie betrachtet die biologische Evolution als einen fortschreitenden Prozess der Akkumulation und Anwendung von Erkenntnis (Kovac 2000, 2006, 2007), das heißt als einen graduellen Anstieg der **epistemischen (d.h. kognitiven) Komplexität** (epistémé: Erkenntnis, Wissen). Organismen, die keine Lernkapazität besitzen, sind „Fanatiker“. Sie generieren keine Hypothesen, die sie testen könnten. Wenn sie sich an die Umgebung adaptiert haben, bleiben sie inflexibel und ändern ihre „Überzeugungen“ über ihre Lebensnische nicht mehr (auch wenn sich die Lebensnische ständig ändert). Das heißt, dass nur ein Teil der Information, die in ihrem Genom gespeichert ist, eine wahre „verkörperte Erkenntnis“ („embodied knowledge“) repräsentiert. In diesem Sinne kann man Genmutationen in einer Bakterie als neue „Überzeugung“, als „Vorstellung“ über ihre Umgebung bezeichnen. „Der Mutant würde sein Leben opfern, um die Treue zu dieser Überzeugung zu zeigen.“ (Kovac, 2000). Eine dynamische Umgebung generiert kontinuierlich neue Probleme - jede Lebensnische ist ein Lösungsproblem. Das Überleben in der Umwelt bedeutet ein Problem zu lösen und die Lösung ist "embodied knowledge".

Der kognitiv-biologische Ansatz ist für den Panpsychismus besonders relevant, weil eine der Hauptthesen der kognitiven Biologie lautet, dass die grundlegenden Mechanismen der Kognition bei sehr einfachen Organismen/Entitäten untersucht werden können („Prinzip der minimalen Komplexität“, Kovac, 2000, 2006). In letzten Jahrzehnten war diese reduktionistische Forschungsstrategie sehr erfolgreich – vor allem bei der Untersuchung der Mechanismen von Lernen und Gedächtnis. Ein Paradebeispiel dafür sind die neurobiologischen Arbeiten von Eric Kandel (Nobelpreis für Medizin 2000). Kandel war überzeugt, dass bestimmte Lernmechanismen bei allen Lebewesen vorhanden sind. Er hat primitive Formen des Lernens (Sensitivierung, klassische und operante Konditionierung) am einfachen Nervensystem der Meeresschnecke (*Aplysia californica*) untersucht. Kandel entdeckte so, dass das Gedächtnis eng mit den synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen bzw. deren Veränderbarkeit zusammenhängt. Darüber hinaus konnte er nachweisen, dass die gleichen molekularen Mechanismen (Gene und deren Proteine) sowohl bei *Aplysia* als auch bei Säugetieren (wie z. B. Mäusen) an Lernprozessen beteiligt sind (Kandel, 2009).

Die kognitive Biologie ist noch radikaler und untersucht primitive kognitive Prozesse noch weiter unten auf der Komplexitätsskala – auf der Ebene einzelner Moleküle. Die Wechsel-Wirkung zwischen einem Protein und seinem Liganden kann man als "molekulare Erkennung" ("**molecular recognition**") bezeichnen. Durch die Protein-Ligand-Interaktion verleiht das Protein seiner Umgebung (d.h. seinem Liganden) die Bedeutung. In diesem Sinne stellen die Proteine, die zwischen Substraten

und Liganden unterscheiden können, eine **Proto-Version der Kognition** dar (Monod, 1971; Goodwin, 1978; Kovac, 2006). Diese Interpretation des Informationsflusses in molekularen Signalwegen hat natürlich panpsychistische oder besser gesagt pankognitivistische Züge. Allerdings wird in der kognitiven Biologie zwischen nomischen (nicht-kognitiven) und teleonomischen (kognitiven) molekularen Wechselwirkungen unterschieden. Die Proteine sind ein Produkt der Evolution - sie wurden selektiert, um Ziel-gerichtete (teleonomische) Funktionen - wie die Erkennung eines Liganden - zu gewährleisten. Das Protein-Molekül hat keine rigide Struktur, sondern ändert seine Zustände ("Explorationsverhalten") und bindet nur in einem bestimmten Zustand den Liganden ("Erkennung"). Empfindung kann man definieren als die Kapazität, verschiedene innere Zustände zu bilden, die als Reaktion auf den unmittelbaren Umweltzustand entstehen. In diesem Sinn besitzen Proteine molekulare Empfindungsfähigkeit ("molecular sentience", Kovac, 2006, 564). Im Gegensatz dazu haben die einfacheren Interaktionen von Atomen oder Molekülen (z.B. chemische Reaktionen in der unbelebten Natur) einen nomischen Charakter: sie haben keine evolutionäre Historie und repräsentieren physikalisch notwendige Wechselwirkungen. Die kognitive Biologie geht also nicht so weit, dass sie den Elementarteilchen kognitive Eigenschaften zuschreibt. Sie ist keine "pankognitive Biologie". Die molekulare Kognition wird als eine neue Qualität in der Entwicklung des Universums gesehen, die mit der Entstehung des Lebens erschienen ist. Das Leben wird von Anfang an als kognitives informationverarbeitendes System betrachtet.

Die Evolutionsmechanismen (Variation, Selektion, Reproduktion) wirken auf allen Ebenen: von molekularen und zellulären Strukturen bis zu Organismen und Ökosystemen. Die Evolution ist eine kognitive Ratsche, die die Organismen in Richtung höherer epistemischer/kognitiver Komplexität treibt (Kovac, 2000; Jedlicka, 2007). **Epistemisches 'ratchetting'** findet auf allen hierarchischen Stufen der Natur statt. Es ist die epistemische Komplexität, die im Laufe der Evolution kontinuierlich steigt (Kuhn, 1988; Kovac, 2000; Jedlicka, 2007). Die *in silico* Experimente von Christoph Adami unterstützen die Plausibilität des evolutionären Anstiegs der kognitiven Komplexität ("physical complexity", Adami et al., 2000; Adami, 2002). Die **Entropie** ist ein Maß für potentielle Information. Die Organismen (oder die Population der Organismen) akkumulieren Informationen (die Erkenntnis) über ihre Lebensnischen und die biologische Evolution führt dadurch zur Reduzierung der Entropie. Durch die Fixierung einer günstigen (vorteilhaften) Mutation wandelt die natürliche Selektion Entropie in **Information** um (Adami et al., 2000; Jedlicka, 2007). In dieser thermodynamischen Perspektive entspricht die kognitive Komplexität der **thermodynamischen "Tiefe"** (Lloyd and Pagels, 1988; Kovac, 2008). Die Kognition finden wir also nicht bei allen Systemen, sondern nur bei bestimmten **komplexen dissipativen Systemen**, die im **Nichtgleichgewicht** sind und die Energie verbrauchen, um ihren Informationsgehalt zu vermehren und ihre Unordnung zu erniedrigen (auf Kosten des Entropie-Anstiegs in ihrer Umgebung). Lebende Systeme sind wegen der Information in ihren Genomen weit vom Gleichgewicht entfernt (Adami, 2004). Biologische Evolution generiert

Organismen mit immer mehr "embodied knowledge" und mit immer größerer Entfernung vom Gleichgewicht (Kovac, 2000).

Der Panpsychismus betont die Kontinuität der kognitiven Evolution. Panpsychistische Konzepte werden daher durch experimentelle Daten unterstützt, die eine komplexe Informationsverarbeitung bei evolutionär niedrigeren Organismen nachweisen können. Ein interessantes Beispiel aus den letzten Jahren stellen die botanischen Untersuchungen dar, die nervenzellähnliche Strukturen und Funktionen in Pflanzen entdeckt haben. Es gibt überraschende Analogien zwischen dem Tier- und Pflanzenreich, die bisher nicht ausreichend berücksichtigt worden sind. Pflanzen benutzen elektrische Signale, um auf die Außenwelt zu reagieren. In Pflanzenwurzeln wurden Zellansammlungen gefunden, die große elektrochemische Aktivität aufweisen und sehr wahrscheinlich als informationsintegrierende Zentren arbeiten (Masi et al., 2009). Diese Informationsnetzwerke innerhalb der Pflanze sind speziell dafür ausgestattet, Umweltreize (z.B. Licht, Schwerkraft, Giftstoffe) wahrzunehmen und dadurch das Verhalten der Pflanze zu steuern. Diese Entdeckungen sind im Kontext der kognitiven Biologie nicht so überraschend. Wenn man Bakterien eine basale Form von Intelligenz im Sinne von Problemlösung zuschreibt, dann kann man sicherlich auch mehrzelligen Pflanzen basale kognitive Leistung in deutlich komplexerer Form zusprechen. Ob man von einem botanischen Nervensystem oder von „**Neurobiologie der Pflanzen**“ reden kann, ist umstritten (Alpi et al., 2007). Allerdings hat die Erforschung der Signal- und Informationsverarbeitung bei Pflanzen bereits viele interessante Gemeinsamkeiten mit Tieren gefunden (z.B. Hinweise auf pflanzliche Substanzen, die wie Neurotransmitter wirken). Diese Entdeckungen deuten darauf hin, dass die biologische Evolution zum Teil ähnliche informationsakkumulierende Mechanismen im Tier- und Pflanzenreich erfunden hat (Brenner et al., 2006; Brenner et al., 2007; Trewavas, 2007).

Auf der anderen Seite gibt es auch mehrere Hinweise, dass in der Evolution wahrscheinlich auch qualitative Sprünge stattgefunden haben (siehe unten). Bei einer bestimmten Entfernung vom Gleichgewicht kann ein dissipatives System diskontinuierlich zu einer anderen Form organisierter Aktivität übergehen. Der Panpsychismus scheint diese Kreativität der Materie, die weit vom Gleichgewicht ist (Prigogine, 1997, 56), zu unterschätzen, da er keine diskontinuierliche "**Phasenübergänge**" in der kognitiven Evolution sieht.

Der Begriff der **Information** spielt bei der Diskussion über Panpsychismus und Kognition eine zentrale Rolle, weil er mehrere wissenschaftliche Disziplinen (Biologie, Biochemie, Informationstheorie, Thermodynamik, Theorie der dynamischen Systeme, Komplexitätstheorie, Philosophie) konzeptuell verbinden kann. Es ist sehr wahrscheinlich, dass in diesem Jahrhundert

neben der Energie auch die Information als unentbehrliche Grundkategorie für unser Verständnis von Natur angesehen wird (Polkinghorne, 2004, 594; siehe auch Tononi, 2004).

Panpsychismus und Neurobiologie

Die kognitive Evolution hat in ihren späteren Phasen ein äußerst komplexes dissipatives und informationsverarbeitendes System geschaffen - das Gehirn. Die Verschaltungskomplexität des Nervensystems ist im Laufe der Evolution dramatisch gewachsen, was zum starken Anstieg der **epistemischen (kognitiven) Komplexität** der Organismen geführt hat. Neuronale Netze im Gehirn ermöglichen, dass unterschiedliche Informationsströme parallel in sensorischen und motorischen Subsystemen verarbeitet werden können und dass vielfältige Aufgaben gleichzeitig durchgeführt werden können. Die im Nervensystem gespeicherte Information/Erkenntnis über die Welt hat zweifachen Ursprung: 1. Das durch die biologische Evolution erworbene Wissen, das im Genom aufbewahrt wird, wird in der Architektur und Funktion des Gehirns zum Ausdruck gebracht. Dieses phylogenetische (angeborene) Wissen kann man in der Kantischen Terminologie als **a-priori**-Erkenntnis bezeichnen (Popper, 1990, 46; Arhem und Liljenström, 1997, 602-603). 2. Das zu Lebzeiten durch Erfahrungen angeeignete Wissen (das ontogenetische **a-posteriori**-Wissen) wird im Gehirn durch langfristige Veränderungen der synaptischen Verbindungen zwischen Nervenzellen abgespeichert (Lern- und Gedächtnisvorgänge). Dazu gehört: a) das Wissen, das wir in den **unbewussten** Prägungsvorgängen in unseren frühen Lebensphasen oder in den unbewussten Lernprozessen in späteren Lebensphasen erworben haben, b) das Wissen, das wir in **bewussten** Lernvorgängen erworben haben. 1. und 2a) kann man als **implizites** und 2b) als **explizites** Wissen bezeichnen.

Für die Diskussion über den Panpsychismus ist es wichtig, dass wir in unserem Gehirn bewusste und unbewusste neuronale Vorgänge unterscheiden können. In diesem Zusammenhang gibt es drei Arten von neuronalen Vorgängen (Singer, 2004b):

1. neuronale Prozesse, die keinen Zugang zum Bewusstsein haben (z.B. die autonomen, automatisch ablaufenden Anpassungs- und Regulationsvorgänge, die die lebenswichtigen Funktionen wie Atmung, Herzschlag, Blutdruck, oder den Stoffwechsel kontrollieren und die vom Menschen willentlich nur indirekt beeinflusst werden können)

2. neuronale Prozesse, die wahlweise den Zugang zum Bewusstsein haben können (z. B. wichtige Sinnessignale oder auch gespeicherte Erinnerungen, die ins Bewusstsein gehoben werden und im Kurzzeitspeicher gehalten werden können)

3. neuronale Prozesse, die grundsätzlich bewusst sind (alle sprachlich gefassten Vorgänge).

Im Kontrast zu unbewussten neuronalen Vorgängen, gilt für die bewussten Vorgänge, dass sie durch die selektive Aufmerksamkeit im Kurzzeitspeicher festgehalten werden, und im sogenannten deklarativen Gedächtnis (im Neocortex) gespeichert werden. Im deklarativen (expliziten) Gedächtnis werden Tatsachen und Ereignisse gespeichert, die sprachlich gefaßt und bewusst wiedergegeben werden können.

Der neuropsychologische Fakt, dass nicht jede neuronale Aktivität mit bewussten Erlebnissen korreliert, spricht gegen die Formen des Panpsychismus, die bewusste psychische Zustände einfachen neuronalen Schaltkreisen, einzelnen Nervenzellen oder ihren Bestandteilen zuschreiben. Die Varianten des Panpsychismus, die nur proto-mentale Zustände mit einfachen neuronalen Aktivitätsmustern verbinden, wären dadurch nicht betroffen. (Allerdings stehen die pan-proto-mentalen Versionen des Panpsychismus vor dem schwierigen Problem, zu erklären, wie aus der Kombination der primitiven Proto-Empfindungen das einheitliche Bewusstsein entstehen kann - das **Kombinationsproblem**.) Die Schlüsselfrage für die panpsychistische Position ist, ob es in der kognitiven Evolution nur quantitative oder auch qualitative Sprünge gab und wie der dramatische Anstieg der kognitiven Komplexität, deren Höhepunkt bewusste Erfahrungen repräsentieren, durch neuronale Mechanismen zu erklären ist.

Bewusstseinsstufen und ihre neuronalen Korrelate

Sehr wahrscheinlich gibt es mindestens drei unterschiedliche **Stufen des Bewusstseins** (Donald, 2001; Kral und Hulin, 2001; Rager, 2003; siehe auch Metzinger, 2003, 204; Murphy und Brown, 2009, 139), wobei die jeweils niedrigere Stufe von Bewusstsein Voraussetzung für nächsthöhere Stufe ist:

1. **Primäres Bewusstsein** (Edelman, 1989): ein phänomenales Empfinden der Welt, das durch direkte Wahrnehmung der Sinnessignale entsteht. Dieses primitive Empfinden ist nur auf die **Gegenwart** (einen kurzen Zeitausschnitt, ein kurzes Gedächtnisintervall) beschränkt. Es fehlt eine Vorstellung/Wahrnehmung der Vergangenheit oder Zukunft. Die Organismen, die primäres Bewusstsein besitzen, haben noch **kein Bild für das eigene Selbst** und **keine sprachlichen Fähigkeiten**. Das Gedächtnis beeinflusst das Verhalten, aber es passiert unbewusst. Das Subjekt empfindet (bewusst) in konkreter Situation zum Beispiel *Angst vor Feuer, allerdings ohne bewusst zu wissen, dass es sich in der Vergangenheit verbrannt hat*. Im Gehirn der Tiere mit primärem Bewusstsein werden **Abbildungen erster Ordnung** gebildet (Damasio, 1999): Abbildungen des momentan wahrgenommenes Objektes (und des momentanen körperlichen Zustands).

2. **Zentrales Bewusstsein** oder **Kernbewusstsein** ("core consciousness", Damasio, 1999): schliesst **das Gefühl des eigenen Ich** ein. Es ist aber **nicht verbalisierbar** und nur transient - das Bewusstsein für das Selbst entsteht nur für einen kurzen Moment und an einem bestimmten Ort ("hier und jetzt").

Durch die Interaktion mit der Umwelt und durch die Gedächtnisleistungen wird das Selbst von Nicht-Selbst unterschieden und Bewusstseinspulse werden generiert. Die Tiere mit zentralem Bewusstsein bleiben noch auf kurze Zeitintervalle beschränkt und haben **keinen Begriff von Vergangenheit und Zukunft**. Das Tier *weiss, dass Es Angst vor Feuer hat, obwohl es nicht weiss, warum*. Im Nervensystem werden **Abbildungen zweiter Ordnung** gebildet: die Repräsentationen von Objekten und inneren Zuständen werden nochmal repräsentiert (Metarepräsentationen). So werden mentale Bilder der Subjekt-Objekt-Beziehung generiert. Das pulsformige Kernbewusstsein spielt sich allerdings noch in vorsprachlicher (vorbegrifflicher) Weise ab.

3. Bewusstsein höherer Ordnung oder erweitertes/autobiographisches Bewusstsein (Naißer, 1988; Edelman, 1989): auf dieser Stufe besitzt das Subjekt sowohl das Bewusstsein des persönlichen Ich als auch **bewusste Wahrnehmung von Vergangenheit und Zukunft**. Die Gehirne mit erweitertem Bewusstsein sind dazu fähig, die Bilder von vergangenen Erfahrungen im Langzeitspeicher abzulegen und sie wieder ins Bewusstsein zurückzuholen. So werden zeitunabhängige (zeitlich erweiterte, ausgedehnte) Modelle des Selbst und der Umwelt generiert. Verschiedene Gedächtnisinhalte werden zusammengefasst und in ein autobiographisches Gedächtnis umgewandelt. Das autobiographische Selbst ist nicht mehr an die Gegenwart gebunden sondern gewinnt durch die Erinnerungen Kontinuität und Identität. *Das Individuum erinnert sich an seine Brandverletzung* und ihre Folgen und es weiss, dass es anders handeln muss, als beim letzten Mal. *Das Subjekt hat Angst und weiss auch warum*. Im Gehirn werden **Abbildungen dritter Ordnung (symbolische Kategorien)** generiert und über die **Sprache** in einer nicht-zeitgebundenen Form zum Ausdruck gebracht. Das ermöglicht, dass die Weltmodelle (einschließlich der Repräsentation des Selbst) auch off-line (unabhängig von momentanem externen Input) prozessiert werden können (Metzinger, 2003, 204; Murphy und Brown, 2009, 140).

Das autobiographische Selbst ist wahrscheinlich ein Menschen-spezifisches Phänomen (Kral und Hulin, 2001; siehe unten die Diskussion über die Evolution der Sprache), obwohl es keinen allgemeinen Konsensus über die Anzahl der Stufen (Metzinger beschreibt 4 Bewusstseinsstufen, die aber sehr ähnlich den 3 oben genannten Stufen sind, Metzinger, 2003, 205) und deren qualitative Unterschiede gibt. (Z.B. Damasio schreibt das autobiographische Bewusstsein auch nicht-menschlichen Arten zu, aber gleichzeitig meint er, dass man es in den höchsten Formen nur beim Menschen findet.) Das zentrale Bewusstsein besitzen wahrscheinlich die Primaten und das primäre Bewusstsein könnten wir wahrscheinlich auch bei niedrigeren Tierarten finden.

Es gibt mehrere **neurowissenschaftliche Bewusstseinstheorien**, die versuchen neuronale Korrelate der Bewusstseinsstufen zu identifizieren (siehe z.B. Seth et al., 2006; Seth, 2007; Mormann und Koch, 2007; und Box 1 in Butler et al., 2005, 925). Die bewusstseinspezifischen neuronalen Mechanismen

werden in der **Architektur** ("Wo?", Konnektivität, Anatomie) und/oder der **Dynamik** ("Wie?", Aktivität, Physiologie) des Gehirns postuliert. Dabei werden neurologische Beobachtungen von Patienten mit Hirnläsionen berücksichtigt. Damasio (1999) lokalisiert die unterste Bewusstseinsstufe (**Proto-Selbst**) im Hirnstamm. Die nächste Stufe (**Kernbewusstsein**) wird laut Damasio hauptsächlich durch Aktivität in den Thalamuskernen, Colliculi superiores und im Gyrus cinguli gebildet und für **autobiographisches Bewusstsein** sind der Neokortex und der Hippocampus von zentraler Bedeutung.

Die Hypothese des **dynamischen Kerns** ("dynamic core hypothesis", Tononi und Edelman, 1998; Edelman und Tononi, 2000) stellt ein ähnliches plausibles neurophysiologisches Modell dar, das durch Forschungsdaten und klinische Beobachtungen gestützt wird (Murphy und Brown, 2009, 145). Dieser Ansatz ist auch aus der Sicht der kognitiven Biologie sehr interessant, weil er auf die Informationsaspekte des Bewusstseins fokussiert ist. Edelman und Tononi betonen, dass bewusste Erlebnisse 1. einheitlich (unteilbar) und gleichzeitig differenziert, 2. informationsreich (siehe unten das informationsbasierte Komplexitätsmaß) und 3. privat sind. Zur Entstehung bewusster Erlebnisse führt nur die Aktivität von Nervenzellen, die zu einer größeren Gruppe von Neuronen (zu einem "funktionalen Cluster" oder "dynamischen Kern") gehören. **Der dynamische Kern** besteht aus einer dynamischen Gruppe von wechselnden neuronalen Einheiten im Cortex, die untereinander über einen Zeitraum von einigen hundert Millisekunden stark interagieren (das beantwortet zum Teil die Frage "Wie"; siehe unten die Diskussion der Synchronisierung). An den bewussten Zuständen sind mehrere Hirnregionen beteiligt. Dabei sind besonders wichtig: 1. das thalamokortikale System (Großhirnrinde (Cortex) und Thalamus), in dem man viele **reziproke ("reentrante") Verknüpfungen** und starke funktionale Differenzierung finden kann. Die thalamokortikalen reentranten Loops ("reentry loops" - Wiedereintrittsschleifen) bilden den Hauptbestandteil des dynamischen Kernes; 2. Der dynamische Kern beeinflusst und wird von zusätzlichen subkortikalen Arealen beeinflusst: z.B. Hippocampus (Gedächtnis), Amygdala (Emotionen), Kleinhirn und Basalganglien (motorische Funktionen); Hypothalamus (autonome und hormonelle Regulation) mit einigen Hirnstammkernen. Der dynamische Kern wird natürlich auch von sensorischen Inputs moduliert und er wirkt auf direkte motorische Outputs, obwohl sie nicht zum Kern gehören. **Primäres Bewusstsein** wird durch das Zusammenwirken des thalamokortikalen Systems mit älteren Hirnregionen, die für das auf Wertvorgaben basierende Gedächtnis wichtig sind, generiert. So wird "erinnerte Gegenwart" ("remembered present", Edelman, 1989) repräsentiert. **Bewusstsein höherer Ordnung** entsteht, wenn durch die reentranten Verbindungen auch die evolutionär jungen Schaltkreise aktiviert werden, die für sprachliche Leistung und symbolisches Gedächtnis zuständig sind (Edelman, 2003).

Evolution des Nervensystems: kontinuierlich oder diskontinuierlich?

Die Komplexität des Nervensystems ist im Laufe der biologischen Evolution dramatisch gewachsen. In einfachen Nervensystemen werden die Signale und Informationen relativ isoliert in separaten Subsystemen verarbeitet. Bei Wirbeltieren ist die Großhirnrinde entstanden und so wurden die Bedingungen für die Ausbildung der reentranten Verschaltungen, die für die **Integration der Informationsverarbeitung** (Tononi, 2004) und für das Bewusstsein wichtig sind, festgelegt. Kann man Diskontinuitäten oder Entwicklungssprünge in der Evolution komplexer Gehirne finden? Die Antwort auf diese Frage ist umstritten und es gibt Autoren die den kontinuierlichen Charakter der Evolution betonen (z.B. Singer 2004, 2006) oder auch wichtige Diskontinuitäten unterstreichen (z.B. Kral und Hulin, 2001; Murphy und Brown, 2009; Hauser, 2009).

Es gibt viele molekulare, anatomische und physiologische Hinweise für den konservativen Charakter der Evolution: die Strukturen und Mechanismen, die sich einmal bewährt haben, werden beibehalten. Sehr ähnliche molekulare Bausteine und physiologische Prinzipien werden sowohl in den Neuronen von einfachen als auch komplexen Organismen von der Natur eingesetzt. Das war der Grund des Erfolgs der reduktionistischen neurowissenschaftlichen Forschungsansätzen (z.B. die oben erwähnte Untersuchungen der Plastizitätsmechanismen bei Meeresschnecken). Im Laufe der Evolution wuchs die Größe der Gehirne, aber seit dem Auftreten der Großhirnrinde wurden keine neuen Hirnstrukturen mehr herausgebildet (Singer, 2006, 19). Wolf Singer (2004, 106) sieht die Emergenz neuer mentalen Qualitäten und unsere kulturelle Evolution als Folge der quantitativen Vermehrung des kortikalen Hirngewebes: "Der einzig wirklich auffällige Unterschied zwischen den Gehirnen verschiedener Säugetierspezies ist die unterschiedliche Ausprägung der Großhirnrinde." Die neuen Funktionen und mentalen Fähigkeiten sind durch Bildung neuer kortikalen Areale und ihrer spezifischen Vernetzungen entstanden (Singer, 2004, 107-108):

"In einfachen Gehirnen gelangt Information auf relativ kurzem Weg von den primären sensorischen Arealen, die sich mit der Verarbeitung der Signale von Sinnesorganen befassen, über Querverbindungen zu den motorischen Hirnrindenarealen, in welchen Bewegungsabläufe und Reaktionen auf Sinnesreize programmiert werden. (...) Bei den höher organisierten Tieren, und das gilt bereits für Ratten, Katzen und Hunde, aber natürlich in besonderem Maße für Primaten, kommen dann weitere Hirnrindenareale hinzu, die ihre Signale nicht mehr von den Sinnesorganen, sondern indirekt über die (...) primären sensorischen Hirnrindenareale beziehen. Diese neuen Areale verarbeiten demnach das Ergebnis von hirnrindenspezifischen Verarbeitungsprozessen und sie tun dies offenbar auf die gleiche Weise, wie die schon vorhandenen Areale Signale aus der Umwelt verarbeiten. Zudem kommunizieren diese neu hinzugekommenen Areale sehr intensiv untereinander. (...) Die Hirnrinde beschäftigt sich also vorwiegend mit sich selbst. (...) Zumindest intuitiv wird nachvollziehbar, wie diese geschichtete Architektur über die wiederholte Anwendung immer gleicher kognitiver Operationen zum Aufbau von Metarepräsentationen innerer Zustände führen könnte. Wenn die Ergebnisse primärer kognitiver Prozesse erneut einer Analyse unterzogen werden, kommt dies der Reflexion eigener Wahrnehmungsprozesse gleich. Zieht man in Betracht, dass die Ergebnisse dieser kognitiven Operationen höherer Ordnung ihrerseits wiederum miteinander verglichen und verrechnet werden und dass die Ergebnisse dieser transmodalen Vergleiche wiederum in neu hinzugekommenen Hirnrindenarealen eine abstrakte Kodierung erfahren können, dann läßt sich erahnen, wie phänomenales Bewusstsein, das Sich-Gewahrsein von Wahrnehmungen und Empfindungen, entstanden sein könnte."

Diese Beschreibung ist konsistent mit den oben genannten Konzepten der reentranten kortikalen Verschaltungen und der Abbildungen erster, zweiter und dritter Ordnung. Das Dilemma der dis/kontinuierlichen kognitiven Evolution lässt sich aber leider durch diese vorwiegend *strukturelle* und *Konnektivitätsbasierte* Argumente nicht eindeutig entscheiden. Andere Autoren, die die Evolution des Nervensystems ähnlich beschreiben und für das höhere Bewusstsein eine entscheidende Rolle den neuen, von Sinnesorganen unabhängigen (d.h. amodalen) Hirnrindearealen zuschreiben, argumentieren allerdings, dass die Komplexitätszunahme der Großhirnrinde nicht nur quantitative, sondern auch qualitative funktionelle Unterschiede (und daher kognitive Sprünge) hervorgebracht hat (z.B. Kral und Hulin, 2001; Rager, 2002; Murphy und Brown, 2009; Hauser, 2009; Ayala, 2010). Deswegen ist es hilfreich, sich im Kontext der neurowissenschaftlichen Bewusstseinstheorie neben den strukturellen auch den spezifischen *dynamischen* Eigenschaften neuronaler Aktivität zu widmen.

Das Gehirn als komplexes dynamisches System

Das menschliche Gehirn ist ein komplexes System - vielleicht komplexestes System des Universums überhaupt. Komplex bedeutet etwas anderes als kompliziert. Komplizierte Systeme sind zwar schwierig zu überblicken, aber nach einer detaillierten Analyse in übersichtliche Teile zerlegbar und dadurch verständlich. Ein komplexes System ist vielschichtig und seine Eigenschaften lassen sich nicht restlos auf die Eigenschaften oder Aktivität seiner Untereinheiten reduzieren. Der Grund: "... gerade die Vernetzung vermeintlicher Einzelteile prägt wesentliche Eigenschaften des Gesamtsystems, die mit Hilfe der getrennten Teile entweder nicht erfasst werden oder gar nicht existieren" (Richter und Rost, 2004, 3). In komplexen Systemen entstehen auf höheren Ebenen sogenannte **emergente Eigenschaften**. Dies wird durch das holistische Motto ausgedrückt: Das Ganze ist "mehr als" die Summe seiner Teile ("more than" vs. reduktionistisches "nothing else but"). Somit zeigen komplexe Systeme die Grenzen der reduktionistischen Sichtweise (Richter und Rost, 2004, 26). Die Emergenz ermöglicht potentielle qualitative Sprünge in der kognitiven Evolution, die dadurch einen diskontinuierlichen Charakter gewinnen kann (siehe unten).

Das Nervensystem weist Eigenschaften **komplexer selbstorganisierenden Systeme** auf (z.B. Singer, 2006; Murphy und Brown, 2009; Clayton, 2008). Seine Aktivität wird in dynamischen ineinander geschachtelten Netzwerken von vielen, miteinander auf spezifische Weise interagierenden Molekülen, Nervenzellen und Nervenzellgruppen generiert. Wegen vielen **Feedback-Schleifen** (z. B. reentrante Verschaltungen) zeigt das Gehirn eine **nichtlineare Dynamik**, zu der **hohe Empfindlichkeit gegenüber Anfangsbedingungen** und unvorhersehbare Änderungen seiner räumlich-zeitlichen Aktivitätsmuster gehören (vgl. Beggs 2008; London et al., 2010). Die Veränderungen der Hirnrindenaktivität kann man in diesem Kontext als Bewegung (Trajektorie) in hochdimensionalen Zustandsräumen verstehen. Die Repräsentationen (und Metarepräsentationen) der Objekte der Wahrnehmung entsprechen den räumlich-zeitlich spezifischen Erregungsmustern in der

Großhirnrinde, die durch eine Vielzahl von gleichzeitig aktiven Neuronen erzeugt werden. Jedes Neuron kodiert dabei einen Teilaspekt des gesamten Objekts. Durch präzise zeitliche Synchronisation wird im Gehirn sensorische Integration vermittelt: aus einer Vielzahl von Sinnessignalen (visuellen, taktilen, auditorischen Signalen) wird einheitliche Wahrnehmung konstruiert (sog.

Bindungsproblem). "Das neuronale Korrelat eines Wahrnehmungsinhaltes oder einer Entscheidung oder eines vorformulierten Satzes wäre dann ein komplexes raum-zeitliches Muster synchron aktiver Nervenzellen, das sich über hinreichend lange Zeit stabilisiert, um verhaltensrelevant zu sein oder sogar bewusst zu werden." (Singer, 2004, 109) Den dynamischen Kern, der das neuronale Korrelat für bewusste Vorgänge darstellt (siehe oben), kann man also als einen dynamischen Zustand der Großhirnrinde definieren, der durch die koordinierte Aktivität vieler räumlich verteilter Neurone charakterisiert ist.

Komplexe dynamische Zustände, Panpsychismus und Emergenz

Zwischen dem Panpsychismus und der neurowissenschaftlichen Beschreibung des Gehirns als eines komplexen dynamischen Systems gibt es zwei interessante Zusammenhänge:

1. Der Pan-Proto-Psychismus hängt eng mit prozessphilosophischen Konzepten zusammen, die Prozesse (Ereignisse und Veränderungen) als grundlegende Elemente der Wirklichkeit betrachten (Whitehead, 1978). Die panpsychistischen Theorien, die von der Prozessphilosophie beeinflusst sind, betonen, dass Ereignisse ontologisch wichtiger als Dinge sind. Diese Dynamik-orientierte Ontologie wird durch die modernen neurowissenschaftlichen Vorstellungen unterstützt: die neuronale Repräsentation (und Metarepräsentation) der Inhalte der Wahrnehmung entspricht dynamischen Hirnzuständen, die man als eine Ereigniskette - als eine Trajektorie (Bewegung, Entwicklung) im multidimensionalen Raum beschreiben kann. Komplexe selbst-organisierende Systeme sind dynamische Prozesse, die man nicht reifizieren sollte (Juarrero, 1999, 124): selbst-organisierende dissipative Aktivitätsmuster sind keine Sachen (keine "res extensa" oder "res cogitans"). Panpsychistische Prozessphilosophie würde also eher über ein Universum voller "Geistwind" oder "Geistfluss" reden ("Geiststaub" und "Geiststaubpartikel" evozieren dagegen eine statische Ontologie.)

2. Die Panpsychisten könnten die zeitliche Synchronisation aktiver Neurone (die bewusst wahrgenommene Objekte kodieren) als neuronalen Mechanismus sowohl für die Lösung des wissenschaftlichen Bindungsproblems als auch des philosophischen Kombinationsproblems sehen: die neuronalen Aktivitäten in den (für entsprechende Sinnessignale) spezialisierten Hirnbereiche (mentales Korrelat: elementare sinnesspezifische Einzel(proto)bewusstseine) werden durch die Synchronisation in einem koordinierten dynamischen Zustand zusammengeführt (mentales Korrelat: einheitliche bewusste Wahrnehmung).

Auf der anderen Seite wird die Emergenz von neuen Eigenschaften in komplexen dynamischen Systemen sowohl vom Panpsychismus als auch vom physikalischen Reduktionismus unterschätzt oder ignoriert. Der Panpsychismus ist ein Gegenpol des Emergentismus, da er die mentalen Eigenschaften als schon immer existierenden Aspekt der Wirklichkeit postuliert. Für nichtlineare komplexe Systeme wie unser Gehirn ist es aber charakteristisch, dass sie qualitativ neue Eigenschaften hervorbringen können, die aus den Eigenschaften der Komponenten nicht ableitbar sind. Emergentistisches Motto könnte sein: "Es gibt wohl etwas Neues unter der Sonne!" Infolge des Zusammenspiels der Elemente der niedrigeren Systemebenen (z.B. der Proteine) werden neue Phänomene auf höheren Ebenen gebildet (z.B. zelluläre Funktionen), die durch viele **"top-down" Rückkopplungsschleifen** wiederum die Dynamik der niedrigeren Ebenen beeinflussen können. Diese antireduktionistische systembiologische Betrachtungsweise von Molekülen, Zellen, Organen und Organismen (Noble, 2002, 2006) schreibt jeder Ebene eine wichtige funktionelle Rolle zu und lehnt aufgrund verschiedener ("bottom-up" und "top-down") Feedbackmechanismen die Reduktion eines biologischen Systems auf eine (z.B. genetische) Ebene ab. Keine Ebene ist privilegiert und "diktiert", was passiert in anderen Ebenen (Noble, 2006, 80). In biologischen Systemen kann jede Ebene Angangspunkt einer kausalen Kette werden. Solche holistische Denkweisen öffnen die Möglichkeit, dass man auch unserem Bewusstsein eine kausale Rolle zuschreiben könnte. Es wurden mehrere Vorschläge formuliert, wie die mentalen Zustände im Rahmen einer reziproken **Abwärtskausalität** ("downward causation") eine verhaltensrelevante kausale Rolle spielen könnten (Ellis, 2005; Ellis, 2009; Murphy und Brown, 2009, 87). Plausible Emergenztheorien, die auf den Begriffen der Theorie der komplexen Systeme (Information, Rückkopplungsschleifen, Amplifizierung, Zeitasymmetrie) aufgebaut sind (Murphy und Brown, 2009, 78; Deacon, 2007), unterstützen die Idee, dass biologische und später kulturelle Evolution dazu fähig war, neue Phänomene mit qualitativ komplexerer Informationsverarbeitung (z.B. Ethik) hervorzubringen (Ayala, 2010).

Willensfreiheit, Quantum-Brain Hypothese und Panpsychismus

Im Diskurs über die Willensfreiheit wurde argumentiert, dass die Neurobiologie uns zeigt, dass alle unsere Gedanken, Entscheidungen und Handlungen durch **deterministische neuronale Prozesse** bestimmt werden und die Willensfreiheit daher eine Illusion sei (Singer, 2004, 2006). „Wir betrachten uns ... als frei in unseren Handlungen, obwohl diese Willensfreiheit neurobiologisch betrachtet gar nicht existiert.“ (Singer, 2002) Sind wir

wirklich deterministische neuronale Maschinen? Es gibt mehrere neurowissenschaftliche Argumente, die die Idee unterstützen, dass das Gehirn sehr wahrscheinlich kein deterministisches System ist (Glimcher, 2005; London et al., 2010). Die Entwicklungstrajektorien komplexer nichtlinearer Systeme sind wegen der hohen Empfindlichkeit gegenüber Anfangsbedingungen oder kleinen Störungen (Fluktuationen) unvorhersagbar. Selbst kleinste Veränderungen in den Anfangsbedingungen können bei komplexen Systemen wie unserem Gehirn **unvorhersehbare Veränderungen in ihren räumlich-zeitlichen Aktivitätsmustern** verursachen. Solch eine Dynamik lässt sich in der Realität nicht prognostizieren.

Trotzdem bleibt noch die Frage, ob unser Gehirn ein nichtlineares, schwierig berechenbares, aber trotzdem deterministisches System ist oder ob es über genuine indeterministische Eigenschaften verfügt. Ein **nichtlineares deterministisches System** ist noch berechenbar, wenn sein Anfangszustand mit genauer Präzision bekannt ist, was meistens praktisch unmöglich ist. Ist also die Hirnaktivität nur aus praktischen oder aus prinzipiellen Gründen unvorhersehbar? Ist der nächste Zustand des Gehirns durch den vorhergehenden völlig determiniert oder nicht? In der heutigen Wissenschaft gibt es nur in der Quantentheorie Ereignisse, die prinzipiell nicht determiniert sind. Wenn die Quanten-Dynamik die neuronale Aktivität und mentale Zustände beeinflussen könnte, wäre das ein starkes Argument gegen den Neurodeterminismus. Das Nervensystem kann wahrscheinlich kein makroskopisches Quanten-Verhalten (wie Quantenverschränkung, Superposition oder Tunneleffekte) aufweisen (Koch und Hepp, 2006; Koch, 2009), wie das in älteren Quantum-Brain-Theorien vorgeschlagen wurde (Hameroff und Penrose, 1996). Allerdings gibt es neuere biologisch plausible Alternativ-Modelle, wie quantenmechanische Effekte neurophysiologisch wirksam sein könnten (Satinover, 2001; Davies, 2004; Glimcher, 2005; Hunter, 2006; Jedlicka, 2007; Kauffman, 2008).

Die gängige Meinung ist, dass das Nervensystem gross und warm ist und deswegen heben sich die Quanten-Fluktuationen gegenseitig auf. Diese Intuition kann aber in nicht-linearen komplexen hierarchischen Systemen irreführend sein, weil die hohe Empfindlichkeit gegenüber kleinsten Parameteränderungen dazu führen kann, dass mikroskopische Quanten-Fluktuationen auf höheren Ebenen verstärkt (amplifiziert) werden können und den System-Output beeinflussen können (Satinover, 2001; Jedlicka, 2007; siehe auch Polkinghorne und Beale, 2009; Koch, 2009). Die Quanten-Effekte auf mikroskopischen und mesoskopischen Ebenen wurden in biologischen Systemen direkt beobachtet (Satinover, 2001; Arndt et al., 2009). Sie scheinen evolutionäre Vorteile in Form einer schnelleren Informationsverarbeitung zu bringen und spielen wichtige Rolle z.B. bei der Aktivität der Enzyme (Kohen et al., 1999), Motorproteine (Astumian, 2001) oder bei der Photosynthese (Engel et al., 2007; Sension, 2007; Panitchayangkoon et al., 2010).

Quanten-Prozesse beeinflussen sehr wahrscheinlich auch synaptische und neuronale Mechanismen. Die Daten deuten darauf hin, dass die Membranspannung zum Teil ein Produkt von Interaktionen auf atomaren Ebene ist (z.B. Interaktionen zwischen Aktionspotentialen und Transmitterfreisetzung oder zwischen Transmittermolekülen und postsynaptischen Rezeptoren), die von quantenphysikalischen Gesetzen gesteuert sind und daher wirklich indeterminiert sind (Glimcher, 2005; Jedlicka, 2007). Direkte Beweise für die Amplifizierung dieser Fluktuationen auf makroskopische Ebene fehlen noch, sind aber aus der Logik komplexer nichtlinearer Systeme zu erwarten (Satinover, 2001; Jedlicka, 2007). Sollte die Neurowissenschaft diese Effekte nachweisen, würde das eine weitere Schwächung der (jetzt bereits schwachen) Position des Neurodeterminismus bedeuten.

Die Entwicklungstrajektorie eines indeterministischen neuronalen Systems (z.B. seines dynamischen Kernes) entzieht sich aus prinzipiellen Gründen jeglicher Berechnung. Deswegen ist die Zukunft solch eines komplexen Systems offen und nicht vorbestimmt. Die dynamischen Zustände (Aktivitätsmuster) werden im nicht-determinierten Gehirn einem kompetitiven Prozess ausgesetzt, wobei sich der Zustand durchsetzt, der den günstigsten (verhaltensrelevanten) Attraktoren am besten entspricht. Falls der vorhergehende Gehirnzustand Übergänge in mehrere (mehr oder weniger wahrscheinliche) Folgezustände erlaubt, dann können auch quanten-mechanischen Fluktuationen in der Signalübertragung den einen oder anderen Zustand begünstigen (vgl. Singer, 2004). Dann ist aber die geschlossene kausale Kette unterbrochen und die neurodeterministischen Argumente gegen die Willensfreiheit (Singer, 2004) nicht mehr gültig. Indeterminismus ist keine hinreichende Bedingung für die Existenz des freien Willens. Es ist aber eine notwendige Bedingung - Neurodeterminismus ist mit der Willensfreiheit nicht vereinbar. Indeterministische Modelle öffnen daher die Möglichkeit, dass wir stochastische neuronale Korrelate unserer Entscheidungen suchen können.

Manche Panpsychisten und Prozessphilosophen sehen die Unbestimmtheit der Quantenphysik als Ausdruck spontaner Freiheit auf der fundamentalsten Ebene der Wirklichkeit. Deswegen sind die Quantum-Brain-Ideen für pan(-proto-)psychische Überlegungen relevant (Hameroff und Penrose, 1996; Hameroff, 1998; Seager und Allen-Hermanson, 2005; Stapp, 2007; Smith, 2008). Es ist interessant, dass in der Quantenphysik non-kausale Wechselwirkungen (d.h. ohne Energie Austausch) beschrieben werden. Die scheinbar voneinander getrennten subatomaren Teilchen bleiben, nachdem sie einmal Kontakt miteinander hatten, über Raum und Zeit hinweg miteinander verschränkt. Die Panpsychisten schreiben den verschränkten Partikeln die Fähigkeit zu, sich einander zu überwachen, und diese nicht-lokalen Prozesse werden im Panpsychismus als fundamentale mentale Ereignisse verstanden.

Der kognitive ‚Big Bang‘

Beim Homo sapiens (lat. der einsichtsfähige, kluge Mensch) hat die kognitive Evolution ihren Komplexitätsgipfel erreicht. Beim Mensch können wir eine neue Art von Erkenntnis beobachten: selbstreferentielle Erkenntnis, die mit dem erweiterten Selbstbewusstsein (siehe oben) eng zusammenhängt. Wir wissen nicht nur, sondern wir wissen auch, dass wir wissen. Wir verarbeiten nicht nur Informationen, sondern auch Informationen über Informationen (Metainformationen). Die kognitive Biologie ist an sich ein Beispiel für selbstreferentielle Erkenntnis. Es ist eine Theorie (Erkenntnis) über evolutionäre Akkumulation von Erkenntnis. Die Beobachtungen aus der Evolutionspsychologie zeigen, dass die Menschen einzigartige kognitive Eigenschaften entwickelt haben, die bei anderen Tierarten nicht zu finden sind (zusammengefasst von Hauser, 2009). Das menschliche Gehirn verkörpert also ein qualitativ neues Niveau epistemischer Komplexität, das einen kognitiven ‚Big Bang‘ ermöglicht hat (Jedlicka, 2007). Die Entstehung von Wissenschaft, Kunst, Kultur, und Religion ist Ausdruck einer kognitiven Explosion und einer breiten kulturellen Lücke (Hauser, 2009; Ayala, 2010; siehe auch Pinker, 2010). Bei Schimpansen kann man komplexe kognitive Prozesse finden. Ein Schimpanse wird allerdings nie ein Experiment entwerfen, in dem er die Menschen testen würde oder er wird sich nie vorstellen können, was wir denken oder fühlen (Hauser, 2009). In diesem Sinne ist der Mensch eine Revolution in der Evolution (Chesterton, 1925). Menschliche Sprache, die auf der Manipulation mentaler Symbole beruht, unterscheidet sich wesentlich von der Kommunikation anderer Tierarten. Auch wenn wir einfache Manipulation mit symbolischen Repräsentationen den Tieren zuschreiben würden, es gibt mehrere wichtige Unterschiede (Hauser, 2009): z.B. die symbolische Kommunikation der Tiere ist auf die Gegenwart eingeschränkt; sie wird nur durch wirkliche (und nie durch erfundene oder vorgestellte) Objekte oder Ereignisse getriggert; die Symbole werden nur selten mit anderen Symbolen kombiniert (und die Kombinationen sind auf zwei Symbole limitiert). Beim Mensch hat die Evolution eine symbolische Schwelle überschritten (Murphy und Brown, 2009, 109, Abb. 3.1). So entsteht die Frage, wie die pan-proto-psychischen Konzepte, die eher die kontinuierlichen Aspekte der kognitiven Evolution betonen, zur Erklärung dieses kognitiven Sprungs beitragen können.

Selbstbezüglichkeit unseres Bewusstseins

Können wir die neuronalen Mechanismen des erweiterten selbst-referentiellen Bewusstseins vollkommen entschlüsseln und in der mathematischen Sprache der empirischen Wissenschaft beschreiben? Zusätzlich zu den oben erwähnten prinzipiellen Grenzen der Berechenbarkeit

komplexer nicht-deterministischer Systeme gibt es einen weiteren Grund dafür, dass eine restlose mechanistische Erklärung des Bewusstseins sehr wahrscheinlich nicht möglich ist. Jede Theorie des Bewusstseins ist ein Produkt unseres Bewusstseins und deswegen notwendigerweise selbst-referentiell: "Das Erklärende, unser Gehirn, setzt seine eigenen kognitiven Werkzeuge ein, um sich selbst zu begreifen. Ein kognitives System beugt sich über sich selbst, um sich zu ergründen und im Spiegel seiner eigenen Wahrnehmung zu erkennen.“ (Singer, 2004, 99) Wie Kurt Gödel mit seinen Unvollständigkeitstheoremen (Gödel, 1935) gezeigt hat, hat die Rekursivität oder Selbstbezüglichkeit weitreichende erkenntnistheoretische Konsequenzen. Eine (formale) Theorie, die Selbstbezüge enthält, ist entweder nicht vollständig oder widersprüchlich. Stephen Hawking hat vor kurzem ein ähnliches Gödel'sches Argument verwendet, um zu zeigen, dass eine vollständige und gleichzeitig widerspruchslöse mathematisch-physikalische *Theory of Everything* wahrscheinlich nicht möglich ist (Hawking, 2002; Jaki, 2004; vgl. Jaki, 1966; aber siehe auch Feferman, 2006). Es gibt erste interessante Versuche, die kognitive Komplexität unseres Gehirns und Bewusstseins mathematisch zu formalisieren und quantitativ zu erfassen (z. B. „integrated information theory“ von Giulio Tononi; siehe Tononi, 2004; Balduzzi und Tononi, 2009; zusammengefasst in Seth et al., 2006). Diese Bemühungen sind wertvoll und sollten fortgesetzt werden. Gödels Ergebnisse weisen aber darauf hin, dass die Formalisierung menschlicher epistemischer Komplexität wahrscheinlich nicht vollständig sein kann (Jedlicka, 2007). Mehrere Autoren haben argumentiert, dass sich „besonders selbstbezogene Aspekte von Bewusstsein einer vollständigen algorithmischen Theorie entziehen könnten“ (Gierer, 2005; siehe auch Lucas, 1961; Gerlach, 1988; Penrose, 1994; Svozil, 2000; Redhead, 2004; Kovac, 2006). Diese Überlegungen sind auch ein Argument gegen Neurodeterminismus. Es gibt im Prinzip zwei alternative Möglichkeiten: 1. Wir sind neuronale Maschinen ohne freien Willen, da in unserem Cortex deterministische Verarbeitungsalgorithmen ablaufen. Wir können sie aber nicht vollkommen entschlüsseln, weil es (Gödel zufolge) prinzipiell nicht möglich ist, vollständige Kenntnis eines algorithmischen Systems nur mit den Mitteln des Systems selber zu erreichen. Ein Neurodeterminist kann glauben, dass er eine deterministische Maschine ist, er kann es aber nie beweisen, sonst wäre sein Denken (seine Software) widersprüchlich. 2. Menschliches Denken und Bewusstsein besitzen unberechenbare (nicht-algorithmische und nicht-deterministische) Eigenschaften (Penrose, 1989). Wenn es so wäre, müsste eine erfolgreiche Bewusstseinstheorie neue (nichtalgorithmische - z.B. quanten-mechanische oder andere) Prinzipien beinhalten. Dies gilt auch für die pan-proto-psychischen Vorschläge.

Ich danke Dr. Florian Müller-Dahlhaus für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für interessante Diskussionen.

Literatur

Adami, C., Ofria, C., Collier, T.C. (2000): Evolution of biological complexity, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A* (97), S. 4463–4468.

Adami, C. (2002): What is complexity?, in: *Bioessays* (24), S. 1085–1094.

Adami, C. (2004): Information theory in molecular biology. in: *Physics of Life Reviews* (1) S. 3-22.

Alpi, A. et al. (2007): Plant neurobiology: no brain, no gain? in: *Trends in Plant Science* (12), S. 135-136.

Arhem, P., Liljenström, H.(1997): On the coevolution of cognition and consciousness, in: *Journal of Theoretical Biology* (187), S. 601-612.

Arndt, M., Juffmann, T., Vedral, V. (2009): Quantum physics meets biology, in: *HFSP Journal* (3), S.386-400.

Astumian, R.D. (2001): Making molecules into motors, in: *Scientific American* (285), , S. 56-64.

Ayala, F.J. (2010): The difference of being human: Morality, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A* (107), suppl. 2, S. 9015–9022.

Balduzzi, D., Tononi, G. (2009) Integrated Information in Discrete Dynamical Systems: Motivation and Theoretical Framework, in: *PLOS Computational Biology* (4), e1000091.

Beggs, J.M. (2008) The criticality hypothesis: how local cortical networks might optimize information processing. in: *Philosophical Transactions of the Royal Society A Mathematical Physical & Engineering Sciences* (366), S. 329-343.

Brenner, E.D., Stahlberg, R., Mancuso, S., Baluska, F., Van Volkenburgh, E. (2006): Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling, in: *Trends in Plant Science* (11), S. 413-419.

Brenner, E.D., Stahlberg, R., Mancuso, S., Baluska, F., Van Volkenburgh, E. (2007): Response to Alpi et al.: plant neurobiology: the gain is more than the name, in: *Trends in Plant Science* (12), S. 285-286.

Butler, A.B., Manger, P.R., Lindahl, B.I.B., Arhem, P. (2005): Evolution of the neural basis of consciousness: a bird–mammal comparison, in: *BioEssays* (27), S. 923–936.

Chesterton, G.K. (1925): The Man in the Cave, in: *The everlasting man*, www.cse.dmu.ac.uk/~mward/gkc/books/everlasting_man.html.

- Clayton, P. (2008): *In Quest of Freedom: The Emergence of Spirit in the Natural World*. Frankfurt Templeton Lectures 2006, Vandenhoeck & Ruprecht.
- Crick, F. (1994): *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*, New York: Touchstone/Simon & Schuster.
- Damasio, A.R. (1999): *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Harcourt Brace, New York, San Diego, London.
- Davies, P. (2004): Does quantum mechanics play a non-trivial role in life? in: *BioSystems* (78), S. 69–79.
- Deacon, T. (2007): Three Levels of Emergent Phenomena, in: *Evolution and Emergence: Systems, Organisms, Persons*, hrsg. Von N. Murphy, W. R. Stoeger, Oxford: Oxford University Press, S. 88.
- Donald, M. (2001): *A Mind So Rare: The Evolution of Human Consciousness*, New York: W.W. Norton, S.10–12.
- Edelman, G.M. (1989): *The Remembered Present. A Biological Theory of Consciousness*, Basic Books, New York.
- Edelman, G.M., Tononi, G. (2000) *A Universe Of Consciousness: How Matter Becomes Imagination*, Basic Books, New York.
- Ellis, G.F. (2005): Physics, complexity and causality, in: *Nature* (435), S. 743.
- Ellis, G.F. (2009): Top-down causation and the human brain, in: *Downward Causation and the Neurobiology of Free Will*, hrsg. Von N. Murphy, G.F.R. Ellis, T. O'Connor, Springer Berlin / Heidelberg, S. 63-81.
- Engel, G.S., Calhoun, T.R., Read, E.L., Ahn, T.K., Mancal, T., Cheng, Y.C., Blankenship, R.E., Fleming, G.R. (2007): Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems, in: *Nature* (446), S. 782-786.
- Feferman, S. (2006): *The nature and significance of Gödel's incompleteness theorems*, Institute for Advanced Study, <http://math.stanford.edu/~feferman/papers/Godel-IAS.pdf>.
- Gerlach, J (1988): Gödel-theorem und Kühlenbeck-paradox, in: *Naturwissenschaften* (75), S. 393–398.
- Gierer, A. (2005): Willensfreiheit aus neurowissenschaftlicher und theologiegeschichtlicher Perspektive – Ein erkenntniskritischer Vergleich, *Preprint Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte* (285), S. 1-17 <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P388.PDF>
- Glimcher, P.W. (2005): Indeterminacy in brain and behavior, in: *Annual Reviews in Psychology*, (56), S. 25–56.
- Gödel, K. (1935) Ueber formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I, in: *Monatshefte fuer Mathematik und Physik* (38), S. 173–198.

- Goodwin, B.C. (1978): A cognitive view of biological process, in: *Journal of Social and Biological Systems* (1), S. 117–125.
- Hameroff, S. (1998) “Funda-Mentality: Is the Conscious Mind Subtly Linked to a Basic Level of the Universe?”, in: *Trends in Cognitive Sciences* (2), S. 119-124.
- Hameroff, S., Penrose, R. (1996): Conscious Events as Orchestrated Spacetime Selections”, in: *The Journal of Consciousness Studies*, (3), S. 36-53.
- Hauser M. (2009): Origin of the mind, in: *Scientific American*, (301), S. 44-51.
- Hawking, S. (2002) *Gödel and the end of physics*, Lecture given on Texas A&M’s College Station campus: www.damtp.cam.ac.uk/strts/dirac/hawking.
- Hunter, P. (2006): A quantum leap in biology, in: *EMBO reports* (7), S. 971-974.
- Jaki, S. (1966): *The Relevance of Physics*. Chicago Press.
- Jaki, S. (2004): A Late Awakening to Gödel in Physics, in: *Sensus communis*, (5), S. 153-162.
- Jedlicka, P. (2005): *Neuroethics, reductionism and dualism*, in: *Trends in Cognitive Sciences* (9), S. 172.
- Jedlicka, P. (2007): Physical complexity and cognitive evolution In: *Worldviews, Science and Us: Philosophy and Complexity*, hrsg. Von C. Gershenson, D. Aerts, B. Edmonds, Singapore: World Scientific Publishing, S. 221-223.
- Juarrero, A. (1999): *Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System*, MIT Press: Cambridge Mas.
- Kral, A., Hulin, I. (2001): *Neurophysiological preconditions of consciousness*, in: *Psychiatria* (8), S. 86-98.
- Kandel, E. (2009): The Biology of Memory: A Forty-Year Perspective, in: *Journal of Neuroscience* (29), S. 12748-12756.
- Kauffman, S. (2008): The Quantum Brain?, in: *Reinventing the Sacred: A New View of Science, Reason, and Religion*, Basic Books, New York, S.197-229.
- Koch, C., Hepp, K. (2006): Quantum mechanics in the brain, in: *Nature* (440), S. 611-612.
- Koch, C. (2009): Free will, physics, biology, and the brain, in: *Downward Causation and the Neurobiology of Free Will*, hrsg. Von N. Murphy, G.F.R. Ellis, T. O'Connor, Springer Berlin / Heidelberg, S. 31-52.
- Kohen, A., Cannio, R., Bartolucci, S., Klinman, J.P. (1999): Enzyme dynamics and hydrogen tunnelling in a thermophilic alcohol dehydrogenase, in: *Nature* (399), S. 496-499.
- Kovac, L. (2000): Fundamental principles of cognitive biology, in: *Evolution and Cognition* (6), S. 51-69.

Kovac, L. (2006): Life, chemistry and cognition: Conceiving life as knowledge embodied in sentient chemical systems might provide new insights into the nature of cognition, in: *EMBO Reports* (7), S. 562-566.

Kovac, L. (2007): Information and knowledge in biology. Time for reappraisal, in: *Plant Signalling & Behavior* (2), S. 65-73.

Kovac, L. (2008): Bioenergetics – a key to brain and mind, in: *Communicative & Integrative Biology* (1), S. 114-122.

Kuhn, H. (1988): Origin of life and physics: Diversified macrostructure - Inducement to form information-carrying and knowledge-accumulating systems. in: *Journal of Research and Development* (32), S. 37-46.

Lloyd, S., Pagels, H. (1988): Complexity as thermodynamic depth, in: *Annals of Physics* (188), S. 186-213.

London, M., Roth, A., Beeren, L., Häusser, M., Latham, P.E. (2010): Sensitivity to perturbations in vivo implies high noise and suggests rate coding in cortex, in: *Nature*, 466:123-127.

Lucas, J.R. (1961): Minds, Machines and Gödel, in: *Philosophy* (36) S. 112-127.

Masi, E., Ciszak, M., Stefano, G., Renna, L., Azzarello, E., Pandolfi, C., Mugnai, S., Baluska, F., Arechi, F.T., Mancuso, S. (2009): Spatiotemporal dynamics of the electrical network activity in the root apex. in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A* (106), S. 4048-4053.

Metzinger, T. (1995): Generelle Einleitung: Das Problem des Bewusstseins, in: *Bewusstsein. Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*, hrsg. Von T. Metzinger, Paderborn: mentis.

Monod, J. (1971): *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie*, München: Piper.

Mormann, F., Koch, C. (2007): Neural correlates of consciousness, in: *Scholarpedia*, 2(12):1740.

Murphy, N., Brown, W.S. (2009): *Did My Neurons Make Me Do It?: Philosophical and Neurobiological Perspectives on Moral Responsibility and Free Will*, Oxford University Press (Taschenbuch).

Nisser, U. (1988): Five kinds of self-knowledge, in: *Philos Psychol* (1), S. 35-59.

Noble, D. (2002): The rise of computational biology, in: *Nature Reviews Molecular Biology* (3), S. 460-463.

Noble, D. (2006): *The Music of Life: Biology beyond the Genome*, Oxford: Oxford University Press.

Panitchayangkoon, G., Hayes, D., Fransted, K.A., Caram, J.R., Harel, E., Wen, J., Blankenship, R.E., Engel, G.S. (2010): Long-lived quantum coherence in photosynthetic

complexes at physiological temperature, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A*, doi: 10.1073/pnas.1005484107.

Penrose, R. (1994): *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*, Oxford University Press.

Pinker, S. (2010) The cognitive niche: Coevolution of intelligence, sociality, and language, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A* (107), suppl. 2, S. 8993–8999.

Polkinghorne, J. (2004): The person, the soul, and genetic engineering, in: *Journal of Medical Ethics* (30), S. 593–597.

Polkinghorne, J., Beale, N. (2009): Is the Brain Deterministic?, in: *Questions of Truth: Fifty-one Responses to Questions About God, Science, and Belief*, Westminster John Knox Press, Louisville, Kentucky, S. 128-134.

Popper, K. (1982): Es gibt nichts Neues unter der Sonne. Reduktionismus und das Problem der "Versursachung nach unten", in: *Das Ich und sein Gehirn*, Popper, K., Eccles, J., München, Zürich: Piper, 7. Auflage (2000): S. 34-56.

Popper, K. (1987): *Auf der Suche nach einer besseren Welt*, Piper.

Popper, K. (1990): *A World of Propensities*, Thoemmes Press:Bristol.

Prigogine, I. (1997): *The End of Certainty*, Free Press.

Rager G. (2003): Neuronale Konzepte von Bewusstsein und Selbst, in: *Unser Selbst – Identität im Wandel der neuronalen Prozesse*, hrsg. Von Rager G., Quitterer J., Runggaldier E., Schöningh Paderborn, (2. korr. Aufl.), S. 15-59.

Redhead, M. (2004): Mathematics and the mind, in: *British Journal for Philosophy of Science* (55), S. 731–737.

Richter, K., Rost, J.M. (2004): *Komplexe systeme*, Fischer, Frankfurt.

Satinover, J. (2001): *Quantum Brain*, John Wiley & Sons.

Seager, W., Allen-Hermanson, S.(2005) Panpsychism, in: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/entries/panpsychism>.

Sension, R.J. (2007): Biophysics: quantum path to photosynthesis, in: *Nature* (446), S. 740-741.

Seth, A.K., Izhikevich, E., Reeke, G.N., Edelman, G.M. (2006): Theories and measures of consciousness: An extended framework, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A* (103), S. 10799–10804.

Seth, A. (2007): Models of consciousness, in: *Scholarpedia*, 2(1):1328.

Singer, W. (2002): Ein Frontalangriff auf unsere Menschenwürde, Interview mit W. Singer und T. Metzinger in *Gehirn & Geist*, 4, S. 32.

Singer, W. (2004): Über Bewusstsein und unsere Grenzen. Ein neurobiologischer Erklärungsversuch, in: *Subjekttheorien interdisziplinär. Diskussionsbeiträge aus Sozialwissenschaften, Philosophie und Neurowissenschaften*, hrsg. Von M. Grundmann, R. Beer, Lit-Verlag, S. 99-120.

Singer, W. (2004b): Entscheidungsgrundlagen: Keiner kann anders als er ist, in: *Geist, Seele und Gehirn*, hrsg. Von W. Linden / A. Fleissner, LIT VERLAG Münster, S. 21-30.

Singer, W. (2006): Neurobiologische Anmerkungen zum Freiheitsdiskurs, in: *DEBATTE, Heft 3 der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften*, S. 17-26.

Smith, C.U.M. (2008): Synapses, Quantum Theory and Panpsychism, in: *NeuroQuantology* (6), S. 164-174.

Stapp, H. P. (2007): *Mindful Universe: Quantum Mechanics and the Participating Observer*, Springer, Berlin.

Svozil, K. (2000): On self-reference and self-description, in: *Functional Models of Cognition*, hrsg. Von A. Carsetti, Kluwer, Dordrecht, S. 189–197.

Tononi, G. (2004): An information integration theory of consciousness, in: *BMC Neuroscience* (5):42.

Tononi, G., Edelman, G. (1998): Neuroscience: consciousness and complexity, in: *Science* (282), S. 1846-1851.

Trewavas, A. (2007): Response to Alpi et al.: Plant neurobiology--all metaphors have value, in: *Trends in Plant Science* (12), S. 231-233.

Whitehead, A.N. (1978): *Process and Reality: An Essay in Cosmology*, The Free Press: New York.