

## **Die neuronale Selbstorganisation des Selbst Ein Beitrag zum Verhältnis von neuronalen und mentalenen Prozessen aus Sicht der Synergetik\***

Der Beitrag thematisiert die Möglichkeit, Bewusstsein und die Erfahrung des Selbst mit Hilfe neuronaler Selbstorganisation zu erklären. Dabei wird deutlich, dass die Synergetik als Wissenschaft der Selbstorganisation grundlegende Prinzipien der Funktionsweise des Gehirns beschreibt, die unter anderem auch in der Erfahrung des Bewusstseins und des Selbst münden. Die Frage ist dabei, wie transiente Kohärenzen, Synchronisationsmuster und Ordnungsübergänge neuronaler Netze und ihres Funktionierens entstehen. Der Beitrag beschreibt, welche Hirnstrukturen die Voraussetzungen für die Selbstorganisation von Bewusstsein und Selbst bereitstellen. Damit ist allerdings der qualitative Sprung in die subjektive Erfahrung, in die Qualia-Qualität und in die Erste-Person-Perspektive nicht aufgelöst; es bleibt bei Theorien der Ermöglichung und bei Korrelaten – wenngleich diese der Komplexität des Geschehens durchaus gerecht werden mögen. Somit wird schließlich auch die Grenze der Möglichkeit deutlich, Bewusstsein und Selbst über (Varianten der) Emergenz zu erklären.

### **1 Selbstorganisation im Gehirn**

Die neurobiologische Forschung liefert nicht nur wesentliche Beiträge zum Verständnis psychischer Erkrankungen (ein Stichwort von mehreren: Entwicklung von neuronalen Endophänotypen statt rein symptomaler Einteilungen psychischer Störungen) und greift alte philosophische Probleme neu auf (z.B. das der Grundlagen von Erkenntnis, der (Un-)Möglichkeit von Freiheit oder des Verhältnisses von Materie und Geist), sondern überwindet auch traditionelle Gegensätze. Was man bislang im Sinne eines Entweder-Oder gedacht hatte, wird nun in seinem Zusammenwirken und in seiner wechselseitigen Bedingtheit verstehbar. Dies gilt etwa für die Unterscheidung zwischen organisch bedingten und funktionellen psychischen Störungen oder für die Anlage-Um-

welt-Dichotomie oder für die oft ideologisch geführte Kontroverse zwischen pharmakologischer und psychotherapeutischer Behandlung. Nicht zuletzt trägt die Neurobiologie auch zu einer Integration der verschiedenen Schulrichtungen innerhalb der Psychotherapie bei.

Trotz dieser Verdienste scheint es zunehmend erforderlich, nach dem verbindenden Band der vielen Befunde und empirischen Ergebnisse zur Funktionsweise des Gehirns zu fragen. Gibt es ein theoretisches Modell, welches es erlauben könnte, den progressiv wachsenden Bestand an Faktenwissen zu ordnen und wenigstens annähernd zu verstehen? Und könnte man mit einer solchen Theorie dann vielleicht den großen, noch verbleibenden Rätseln unserer Psyche näherkommen – z.B. dem Problem des »Binding« oder der Entstehung des qualitativen Bewusstseins aus neuronalen, also physikalisch-chemischen Prozessen?

Nun ist sicher im Moment keine einheitliche Theorie des Gehirns in Sicht und die theoretische Entwicklung wird wohl mehrere konkurrierende Modelle und sogar Paradigmen benötigen, um aus der Konkurrenz ein zufriedenstellendes theoretisches Paradigma hervorzubringen. Wir haben wahrscheinlich eine längere Phase der konzeptionellen Aufarbeitung und auch der Kontroversen vor uns, wobei einige Modellvorstellungen bereits heute als obsolet gelten können. Beispielsweise dürfte es keinen Sinn mehr machen, das Gehirn mit einem seriellen Computer zu vergleichen und das Gedächtnis mit einem Vorgang, bei dem Dateien abgespeichert und wieder aufgerufen werden. Auch dürfte nach dem Stand der Erkenntnis (z.B. Davidson et al. 2003) eine reine Cognitive Neuroscience zu eng gefasst sein. Rein kognitive Vorgänge sind zunehmend weniger vorstellbar, da alle neuronalen Prozesse von Motivation und Emotion getragen und durchwirkt sind. Auch ist das Gehirn kein isoliertes Organ, sondern ist bis hinein in die molekularen Vorgänge der einzelnen Neurone auf seine Interaktion mit der Umwelt angewiesen, wobei diese Umwelt ganz wesentlich aus Artgenossen besteht. Die Umwelt von Gehirnen ist nicht nur physikalischer Natur, sondern sozialer, d.h. sie ist mit Bedeutung versehen und erzeugt Bedeutung. Das Gehirn ist ein soziales Organ. Schließlich kann das Gehirn auch innerhalb des Individuums nicht isoliert betrachtet werden, sondern nur in Interaktion mit endokrinen, immunologischen und anderen biologischen Prozessen des Körpers.

Breit akzeptiert dürfte die Vorstellung sein, dass es sich bei unserem Gehirn um ein komplexes System handelt, in dem vielfältigste Resonanzvorgänge und nichtlineare Dynamiken fast immer und überall auftreten. Vergegenwärtigen wir uns einige grundlegende strukturelle Merkmale seines Aufbaus:

- Das Gehirn verfügt über eine große Zahl von Teilen (Neuronen) – ungefähre Schätzung: mehrere 100 Milliarden.

- Diese sind in Form von Netzwerken angeordnet, die wiederum zu Netzwerken verschaltet sind, usw. (eingeschachtelte neuronale Netze).
- Es bestehen 8.000-10.000 synaptische Verbindungen eines Neurons zu anderen Neuronen, je nach Art, Lokalisation und funktioneller Einbindung.
- Ein Neuron steht mit bis zu 1000 anderen Neuronen in direktem Kontakt. Nervenzellen sind somit stark vernetzt. Zum Beispiel kann im Kortex jedes Neuron mit jedem anderen Neuron prinzipiell über zwei zwischengeschaltete Neurone (d.h. drei Synapsen) kommunizieren.
- Eingehende Signale werden im Neuron in nichtlinearer Weise verarbeitet.
- Es gibt eine nichtlineare Signalübertragung zwischen den Neuronen, die in komplexen Feedbackmechanismen zwischen und innerhalb der Zellen verankert ist.
- Eine vergleichsweise große Zahl von Neuronen ist mit der systeminternen Signalverarbeitung befasst, weniger Neurone dagegen mit Afferenz und Efferenz (Schätzung der Anteile von Afferenz: innere Verarbeitung: Efferenz  $\hat{U} 1 : 100\ 000 : 1$ ).
- Neuronale Schaltkreise realisieren vielfach gemischtes Feedback (Kombination aus positivem und negativem Feedback) sowie Inhibitions-Desinhibitions-Mechanismen.

Diese Bedingungen beschreiben genau die Voraussetzungen für Selbstorganisation, d.h. für die Entstehung makroskopischer Muster aus der Dynamik der Bestandteile eines Systems, wobei die makroskopische Dynamik das Verhalten der Teile in ihren Bann zieht (»versklavt«) und synchronisiert. Umgekehrt kann die aus dem Zusammenwirken der Teile entstehende Ordnung Eigenschaften und Qualitäten aufweisen, die auf der Ebene der Teile nicht vorkommen (sog. Emergenz).

Die Wissenschaft der Selbstorganisation wird als »Synergetik« bezeichnet und thematisiert offenbar Phänomene, die für das Gehirn konstitutiv sind: Synchronisation und Entstehung kohärenter Muster, Ordnungsbildung und Ordnungswandel, das Wechselverhältnis von Struktur und Funktion, Eigendynamik und Autonomie der Funktionsweise lebender Systeme, schließlich das Zusammenspiel von Stabilität und Instabilität bei allen Prozessen der neuronalen Dynamik, des Lernens und der Entwicklung (Haken 2002, 2004; Haken & Schiepek 2006). Bemerkenswert ist, dass diese Phänomene nicht nur im Ge-

hirn vorkommen, sondern in komplexen Systemen aller Art, unabhängig von deren materiellem Substrat. So wurden selbstorganisierende Prozesse zunächst in physikalischen Ungleichgewichts-Systemen entdeckt (z.B. Laser, Strömungsdynamik), aber auch in sozialen Systemen (z.B. Kommunikation in Gruppen), in der Wirtschaft, im Verkehr oder im Informationsfluss des »world wide web« (Haken & Schiepek 2006; Mainzer 1997).

## 2 Ein synergetisches Modell psychischer Prozesse

Die grundlegende experimentelle Anordnung zur Beobachtung selbstorganisierender Phänomene bestand darin, ein System mit einer bestimmten, auf dieses System abgestimmten Energiequelle zu versorgen. In einer Schicht aus Silikonöl, die sich in einer flachen Pfanne befindet, ist dies z.B. die Temperaturdifferenz zwischen dem Boden der Pfanne und der Oberfläche der Flüssigkeit. Eine kontinuierliche Erhöhung dieser Temperaturdifferenz führt dann zu diskontinuierlichen Übergängen in der Dynamik des Systems, also z.B. von einem strukturlosen Zustand (homogene Ruhelage) über ein Zwischenstadium der Turbulenz hin zu bienenwabenförmigen hexagonalen Strukturen. Diese sog. Konvektionszellen, in denen die Flüssigkeit im inneren nach oben und am Rand nach unten strömt, optimieren den Wärmetransport im System und steigern damit den Wirkungsgrad sprunghaft. Unter leicht veränderten Bedingungen sind vielfältige dynamische Muster in eine und demselben System realisierbar. Die Synergetik hat für viele physikalische, biologische und psychologische Systeme Versuchsanordnungen geschaffen, bei denen die kontinuierliche Veränderung spezifischer Anregungsbedingungen (sog. Kontrollparameter) zur meist diskontinuierlichen Entstehung und Veränderung von Strukturen und dynamischen Mustern führt (sog. Ordner oder Ordnungsparameter).

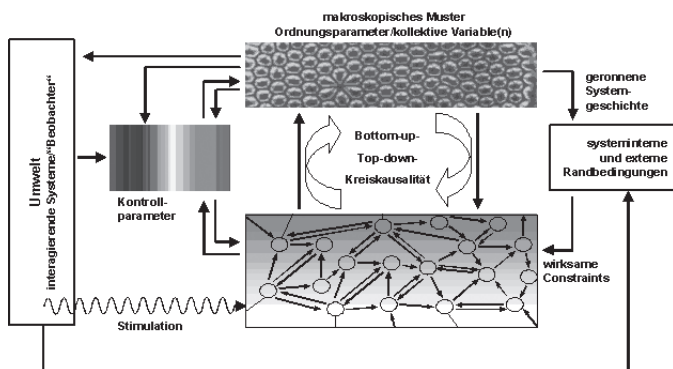


Abb. 1: Ein synergetisches Modell des psychischen Funktionierens (Erläuterung im Text).

Beim Menschen stehen die Kontrollparameter aber nur sehr selten und unter ganz spezifischen Versuchsanordnungen unter dem Einfluss des Experimentators. Ein wesentlicher Unterschied zu physikalischen Experimenten besteht beim Menschen darin, dass Kontrollparameter im *Inneren* des Organismus generiert und verändert werden. Im gesunden psychischen Funktionieren ist es primär sensorische Stimulation aus unserer physikalischen und sozialen Umwelt, aber auch aus dem Inneren des Körpers, auf die wir reagieren (Abb. 1). Sicher ist für den Menschen »Information« ein wichtiger Trigger oder Kontrollparameter, aber genau genommen entsteht Information – im Sinne von Bedeutung – erst *im* Organismus. Eine Information, für die unser Organismus kein Sensorium hat (z.B. Radioaktivität), ist zumindest für psychische oder mentale Prozesse keine. *Information wird generiert*, wobei der aktuelle Ausgangszustand des Organismus eine große Rolle spielt. Vorerfahrungen, Bedürfnisse, Erwartungen und insbesondere Emotionen könnte man als Systembedingungen verstehen, die aus sensorischem Input relevante Kontrollparameter machen. Im Bereich der sensorischen Reizverarbeitung ist inzwischen grundlegend verstanden, wie emotionale Strukturen (z.B. die Amygdala) die Relevanz von Stimuli beurteilen und dadurch das Arousal, die Vigilanz und physiologische wie motorische Reaktionen verändern – blitzschnell, bevor umständliche kognitive Detailanalysen der Situation überhaupt greifen (z.B. LeDoux 2001). *Biologische Systeme selektieren ihre Kontrollparameter* – was allerdings auch physikalische Systeme bereits tun, denn Konvektionsströmungen in Flüssigkeiten reagieren weder auf Strom noch auf Lichtpumpen (aber auf Temperaturunterschiede), und der Laser reagiert nicht auf thermische Erhitzung (aber auf Strom oder Lichtpulse). Kontrollparameter modifizieren dann die nichtlinearen Wechselwirkungen zwischen den Elementen (z.B. Neuronen) und treiben diese aus ihrer momentanen Dynamik (Quasi-Attraktor oder passageres Gleichgewicht). Hinzu kommt bei neuronalen bzw. psychischen Systemen eine Top-Down-Wirkung auf Kontrollparameter, d.h. wir sensibilisieren uns für oder schotten uns gegen bestimmte Reize ab.

Die entstandenen Ordner lassen, auch wenn sie sich wieder auflösen und in andere Ordner übergehen, das System nicht mehr im gleichen Zustand zurück. Einmal entstandene Ordner werden leichter wiederhergestellt (wenngleich kein zweites Mal in exakt identischer Weise, wie am Beispiel der Gedächtnisaktivierung gezeigt werden kann) oder verändern die Auftrittswahrscheinlichkeit anderer Ordner. Die Lerngeschichte beeinflusst die Entstehung weiterer Kognitions-Emotions-Verhaltens-Muster, und schafft Kontexte für die Bildung neuer Muster und Attraktoren. In Abbildung 1 wird dies als *geronnene Systemgeschichte* bezeichnet. Auf der Ebene der Neuronen finden wir hierbei die Hebb'schen Synapsen am Werk, d.h. eine nutzungsabhängige Funktionsmodulation von synaptischen und intrazellulären Prozessen (Second-Messenger-Systeme, Ge-

nexpression). Die neuronale Plastizität ist, wie wir wissen, nicht beliebig, sondern wird von bisherigen Erfahrungen begrenzt, insbesondere von solchen, die in prägenden (meist frühen) Lebensphasen stattfanden. In unserem Schema fassen wir dies unter *Randbedingungen*, die auf die aktuelle Systemdynamik als »Constraints« (Schranken) wirken. Randbedingungen können (a) in der Funktionsweise und Wechselwirkung der Teile bestehen (z.B. in der Aktivierbarkeit bestimmter Synapsen), d.h. sie manifestieren sich in der Grundstruktur des Systems (die Funktionsweise bestimmt die Struktur und umgekehrt), (b) in der Wirkung anderer Systeme und deren Ordner und (c) in physikalisch-materiellen Umgebungsbedingungen, auf die Organismen mehr oder weniger Einfluss nehmen können. Unser phylogenetisches Erbe sowie den anatomischen Grundaufbau des Gehirns kann man somit als systemstrukturelle Randbedingung interpretieren. In der Regel verändern sich Randbedingungen relativ langsamer als Ordner, und Ordner langsamer als die Teile.

Das dargestellte Schema muss man sich vielfach parallel geschaltet vorstellen, also in Zyklen oder Netzwerken solcher selbstorganisierender Systeme, die sich gegenseitig triggern. Die Ordnungsparameterdynamik eines Systems kann zum Kontrollparameter anderer Systeme werden und umgekehrt. Die makroskopische Dynamik eines Systems kann sich mit anderen Systemen synchronisieren und neue Ordner hervorbringen. Ein kleines neuronales Netz koppelt sich mit anderen Netzwerken zu einem Netzwerkverbund usw. (Freeman 1995). Die Selbstorganisation eines Systems findet Eingang in ganze Hierarchien von Systemen, wobei die makroskopische Ordnerdynamik eines Systems zum Mikroprozess eines nächsten Systems wird usw. Dies gilt für neuronale, psychische und auch interpersonelle Prozesse.

Stellt man sich auf einer komplexen Ebene auch Handlungen als Ordner vor, so wirken diese auf unsere Umwelt. Wir wählen aus, in welchen Umwelten wir uns bewegen wollen (z.B. mit welchen Menschen wir zu tun haben wollen) und gestalten unsere Umwelt aktiv. Umgekehrt empfangen wir aus dieser Umwelt Signale. Obwohl die »Umwelt« in Abbildung 1 ganz undifferenziert als Block dargestellt ist, enthält sie im Wesentlichen selbstorganisierende Systeme unterschiedlicher Art und Größenordnung, mit denen wir interagieren und in die wir eingebunden sind. Sofern sich Menschen in sozialen Prozessen gegenseitig wahrnehmen (»beobachten«) und beurteilen, handelt es sich um sog. *Endosysteme* nach Atmanspacher und Dalenoort (1994). Sie kommen dann ins Spiel, wenn Phänomene nicht nur registriert werden, sondern deren Erzeugung von Beobachtern abhängt, von diesen also mitkreiert werden. Im Zustand reflektierter Selbstbeobachtung, aber auch im Sinne eines mitlaufenden Selbst-Monitorings, sind wir selbst dieser Beobachter.

Die Umwelt selbstorganisierender Systeme stellt Bedingungen zur Verfügung, welche als Kontrollparameter fungieren. Gegebenheiten und Verände-

rungen unserer Umwelt haben permanent Wirkung auf uns, sie haben Anforderungscharakter und erzeugen Annäherungs- und Vermeidungsgradienten (vgl. die Konzeption des *psychologischen Feldes* nach Kurt Lewin, 1963). Wir leben in einem Vektor-Gradientenfeld, das aber nicht einseitig von der Umwelt vorgegeben wird, sondern das wir über unsere Wahrnehmung, Bedürfnisse und Emotionen hervorbringen (vgl. in Abb. 1 die Pfeile vom System und vom Ordner auf die Kontrollparameter). Dies drückt aus, was Lewin mit seiner Formel  $V = f(P, U)$  meinte: Verhalten ist eine Funktion der Person und seiner Umwelt, und zwar einer Umwelt, wie sie in der Wahrnehmung und im Erleben eben dieser Person existiert. Die Umwelt schafft schließlich auch externe Randbedingungen für unser psychisches Funktionieren.

Wir haben damit ein synergetisches Modell vor uns, welches erklären kann, wie sich psychische Strukturen zwischen Selbst und Umwelt stabilisieren. Längerfristig können *Kognitions-Emotions-Verhaltens-Muster* (KEV-Muster) entstehen, welche für eine Person charakteristisch sind und bevorzugt vorkommen. In der Metapher der Potentiallandschaften handelt es sich um Täler einer Landschaft, die unsere *Persönlichkeit* repräsentiert. Sind diese Täler nicht allzu tief und die Gebirgsrücken dazwischen nicht allzu hoch, so können wir situationsangemessen zwischen den KEV-Mustern wechseln. In Abhängigkeit von der Nutzung (Erfahrung) verändert sich die Landschaft, d.h. wir können unsere Persönlichkeit verändern. Damit wird der Doppelaspekt von Stabilität und Flexibilität nachvollziehbar, der gesunde Persönlichkeiten ausmacht. Die Kugel (aktuelles Systemverhalten) springt zwischen den Tälern, was die Täler deformiert. Dieser (De-)Formationsprozess allerdings vollzieht sich langsam im Vergleich zur Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel.

### 3 Neuronale Selbstorganisation als Voraussetzung für Bewusstsein und die Koordination des Selbst

Wäre es nun nicht naheliegend, das Problem der Qualia (d.h. die Entstehung unseres qualitativen Bewusstseins) und des mentalen Phänomens eines personalen Selbst als Produkte der Emergenz unsers Gehirns zu betrachten, d.h. als gelöst zu deklarieren? Folgen wir der einschlägigen Literatur, so passen die Veratzstücke in der Tat sehr gut in ein synergetisches Denkmodell, da das Zusammenwirken von Systemnetzwerken, neuronalen Synchronisationsprozessen und die Wirkung von inneren und äußeren Kontrollparametern essentielle Bedingungen für diese Phänomene zu sein scheinen. Verdeutlichen wir uns dies zunächst am Beispiel des Bewusstseins, dann am Beispiel des Selbst.

### 3.1 Bewusstsein

Bewusstsein ist allerdings, so müssen wir gleich zu Beginn feststellen, nicht gleich Bewusstsein, d.h. es handelt sich nicht um einen einheitlichen Zustand. Meist wird ein modularer Aufbau postuliert, der verschiedene Aspekte umfasst: (1) basale Vigilanz und Wachheit; (2) Wahrnehmung von Vorgängen in der Umwelt und im eigenen Körper; (3) mentale Zustände und Tätigkeiten wie Denken, Vorstellen und Erinnern; (4) Emotionen, Affekte und Bedürfniszustände; (5) Erleben der eigenen Identität und Kontinuität; (6) »Meinigkeit« des eigenen Körpers; (7) Autorenschaft und Kontrolle der eigenen Handlungen und mentalen Akte; (8) Orientierung des Selbst und des Körpers in Raum und Zeit; (9) Realitätscharakter von Erlebtem und Unterscheidung zwischen Realität und Phantasie (z.B. Roth 2001, 193).

Damasio (2001) geht von verschiedenen Stufen des Bewusstseins aus, wobei er bei einem noch unbewussten *Proto-Selbst* beginnt. Es beinhaltet wechselseitig verbundene, vorübergehend koordinierte neuronale Muster, welche die Zustände des Organismus auf verschiedenen Ebenen des Gehirns repräsentieren. Die nächste Stufe, das *Kern-Selbst*, ist bewusstseinsfähig, aber vorsprachlich. Es repräsentiert die Veränderungen unseres Organismus (im Körper, im Verhalten, in der Wahrnehmung und im Denken) in Bezug auf innere und äußere »Objekte«, ist somit raum-zeitlich fokussiert und flüchtig. Es beruht auf Schleifen der Selbstrepräsentation (sog. »Karten zweiter Ordnung«), in denen das Proto-Selbst in Veränderung »abgebildet« wird. Permanente, aber dispositionale Aufzeichnungen von Kern-Selbst-Erfahrungen gehen in das *autobiographische Selbst* ein. Sie werden im autobiographischen Gedächtnis prozessiert und konsolidiert, können als neuronale Muster aktiviert, in explizite Vorstellungen verwandelt und durch weitere Erfahrungen modifiziert werden. In dieser erweiterten Form liegt das Bewusstsein der Repräsentation eines Selbst zugrunde, denn es ermöglicht jene geistigen Vorgänge, bei denen wir uns als Beobachter und Erkennende der beobachteten Dinge erleben, als Autoren unserer Gedanken, als potentielle Handlungsträger der Szene. Die individuelle Perspektive, die »Meinigkeit« und Autorenschaft unseres Denkens, Fühlens und Handelns werden durch das Kern-Selbst ermöglicht, die zeitliche Kontinuität durch unser autobiographisches Selbst (Damasio 2001).

Bewusstsein in einfacher und erweiterter Form beruht auf verschiedenen rekursiven Schleifen. Eine Schleife verbindet die basalen Prozesse der Lebensregulation im Hirnstamm und im Hypothalamus mit der Erzeugung von Vorstellungen. Damit entsteht erhebliche Flexibilität, denn wir können unsere Vorstellungen variieren und uns daran ausrichten. Andere Schleifen verbinden unseren Organismus mit inneren Repräsentationen seiner Zustände, d.h. sie erzeugen Karten des Körpers im Gehirn, und diese wiederum mit den inneren



und äußeren Objekten, die Veränderungen auslösen, und auf die wir unsererseits einwirken. Wir produzieren Gefühle, also Repräsentationen von Emotionen, und Gefühle über Gefühle (sekundäre Emotionen). Wir verfügen also über umfangreiche Möglichkeiten für *Meta-Repräsentationen von Informationsverarbeitungsprozessen* im Gehirn (z.B. im präfrontalen Kortex): *das Gehirn modelliert sein eigenes Funktionieren*.

Die strukturellen und funktionellen Voraussetzungen für solche Schleifen und rekursiv aufeinander bezogenen Repräsentationen bezeichnen Edelman und Tononi (2002) als *Re-Entry*. In ihrer Vorstellung handelt es sich dabei um die komplexeste Stufe der Funktionskoordination und -selektion neuronaler Netze. In einer ersten Stufe erfolgt eine »Entwicklungsselektion« der Neuronen, z.B. durch Zellteilung, Zelltod, Dendriten- und Synapsenwachstum bzw. -selektion, was zu dynamischen Verbindungen zwischen Neuronengruppen (cell assemblies) führt. In der zweiten Stufe der »Erfahrungselektion« erfolgt eine erfahrungs- und lernabhängige Veränderung von Synapsenstärken und zellulären Aktionsbereitschaften. Beim »Re-Entry« schließlich werden Hirnkarten über reziproke Verknüpfungen zeitlich und räumlich koordiniert, sensorische und motorische Ereignisse integriert und zu Schaltkreisen verbunden. Daraus resultieren Repräsentationen und Meta-Repräsentation. Im Sinne der Synergetik handelt es sich um multipel parallel vernetzte und hierarchisch integrierte Systeme, die ihre Selbstorganisationsdynamik aufeinander beziehen und Synchronisationsmuster (»Moden«) über weit verzweigte Hirnareale erzeugen.

Das ist die Bühnenmaschinerie für das »Privattheater« des Bewusstseins (für eine ausführliche Darstellung der beteiligten Gehirnstrukturen s. Damasio 2001; Roth 2001). Das Gehirn kommt in die Lage, Überfluss zu verwalten und herzustellen, ohne seine Kohärenz zu verlieren (Edelman & Tononi, 2002, S. 35). Eine derartig komplexe, ineinandergeschachtelte Ordnerdynamik führt zu Eigenschaften, die Edelman und Tononi (2002, S. 198ff.) als zentral für das Phänomen des erweiterten Bewusstseins ansehen: Bewusstsein ist als Prozess erfahrbar, als Geschehen (»stream of consciousness«, William James 1890/1950). Es integriert unterschiedliche Erfahrungsfacetten zu einer Einheit, zu einem dynamischen Kerngefüge, welches aus dem Blickwinkel der eigenen Person erlebt wird und somit die Qualität der Privatheit, der »Meinigkeit« erhält. Bewusstseinszustände werden in der Regel kohärent und als Einheit erlebt; sie schließen einander aus, sind dabei hoch differenziert und informationsdicht. Ein Wechsel zwischen Bewusstseinszuständen ist flexibel und sehr schnell möglich (dynamischer Kernprozess am Rande der Instabilität), wobei wir in jeden Zustand sowohl »eingetaucht« sind als auch eine Metaperspektive, eine Prozessbeobachtung und -bewertung vornehmen können. Bewusstseinszustände reduzieren Unsicherheit und Unbestimmtheit, wie Ordner die Freiheitsgrade der Teile versklaven. Selektionsprozesse (Entscheidungen) zwi-

schen Bewusstseinsprozessen sind kontextabhängig (Assoziationsnetzwerke) und emotions- bzw. motivationsgetriggert.

Das Aktualbewusstsein ist kapazitätsbegrenzt, was auf der »Kanalenge« und dem begrenzten Zeithorizont des Arbeitsgedächtnisses beruht. Die Tatsache, dass unser Gehirn und unser phänomenales Bewusstsein auf der Ebene von Ordnern und nicht auf der Ebene der Teile und ihrer Wechselwirkungen operieren, erweist sich in diesem Zusammenhang als außerordentlich ökonomisch. Bewusstes Erleben wird konsequenterweise zwar als sehr schneller, aber im Grunde serieller Prozess, als Kaskade von Ordnungsübergängen beschrieben (z.B. Edelman & Tononi 2002). Damasio (2001, 213): »Nach meiner Auffassung wird das Bewusstsein pulsartig erzeugt, wobei jeder Pulsschlag durch ein Objekt ausgelöst wird, mit dem wir interagieren oder das wir erinnern. (...) Die Kontinuität des Bewusstseins beruht auf der stetigen Hervorbringung von Bewusstseinspulsen, die der endlosen Verarbeitung von unzähligen Objekten entsprechen. (...) [Sie] erwächst aus dem strömenden Fluss von nicht-sprachlichen Erzählungen des Kernbewusstseins.« Aufgrund der Tatsache, dass Emotion und Kognition, Gefühle und Gedanken im Grunde immer eine Einheit bilden (z.B. Ciompi 1997), kann man diese Pulse als *Kognitions-Emotions-Einheiten* auffassen (Damasio 2001; Schiepek 1991), für die es wahrscheinlich multiple und parallele Generatoren gibt.

Bewusstsein tritt offenbar immer dann verstärkt auf, wenn es gebraucht wird, d.h. wenn wir uns auf eine Sache konzentrieren und Neues lernen. Eine Hypothese zur Funktion des Bewusstseins betrifft seine Koinzidenz mit Lernprozessen, mit der Unterbrechung von Routinen und dem Auftreten neuer Erfahrungen. Werden neuronale Netze neu »verdrahtet« und ändern sich synaptische Verbindungen (z.B. durch die zeitgleiche Aktivität von Zellen, die durch NMDA-Glutamat-Synapsen verbunden sind), so ist dies ein aufwendiger Prozess, an dem nicht nur die verteilt operierenden Netzwerke, sondern auch das präfrontale Arbeitsgedächtnis beteiligt sind. Bei solchen Prozessen wäre Bewusstsein die Signatur der neuronalen Plastizität (Flohr 1992; Roth 2001).

Man könnte Bewusstsein vor diesem Hintergrund als Begleitmusik kritischer Ordnungsübergänge verstehen. Entstehen neue Muster, so lösen sich bestimmte synchrone Muster auf und höherfrequente Dynamiken kommen ins Spiel. Gamma-Aktivität (ca. 40 Hz) tritt auf, wenn verschiedene Merkmale assoziativ zu einer neuen Gestalt verbunden werden. Es kommt sowohl zur De-Synchronisation, aber auch – etwa bei der Vorbereitung von Handlungen – zu einer intensivierten Synchronisation. Selbst im sog. desynchronisierten EEG (Alpha-Aktivität) sind Synchronisationsinseln versteckt, die lokalen kortikalen Regionen mit stark koordinierter Aktivität entsprechen. Die Kohärenz zwischen entfernten Gehirnregionen nimmt zu, wenn Zusammenhänge hergestellt werden, derer wir uns bewusst werden (Edelman & Tononi 2002). Es sind

– je nach Aufgabe – sehr unterschiedliche Areale des Gehirns beteiligt. Haben sich die neuen Ordner dann gebildet, sind also z.B. Konditionierungsvorgänge abgeschlossen oder Lernprozesse in Routinen verwandelt, steigt der Wirkungsgrad des Systems. Die Leistung nimmt zu, obwohl weniger Gehirnareale beteiligt sind. Das Gehirn beschränkt sich auf das Wesentliche. Wo es sich nicht auf das Wesentliche beschränken kann, weil eine Situation neu und herausfordernd ist, braucht es das Bewusstsein. Aktuelle Befunde zum sog. »default mode«, also zur aufgaben- oder stimulationsunabhängigen Funktionsweise des Gehirns (Raichle et al. 2001, s.a. Vogeley in diesem Band) sprechen allerdings dafür, dass sich das Gehirn auch ohne Anforderungen oder aktuelle Lernprozesse – selbstreflexiv und selbststimulierend – mit sich selbst beschäftigt, dass Gedanken »wandern« und entsprechende neuronale Netze in unterschiedlichem Ausmaß permanent aktiv sind.

### 3.2 Das »Selbst«

Eine sehr elaborierte Form des erweiterten Bewusstseins ist jenes Bewusstsein, das wir über unsere eigene Existenz und Identität haben. Obwohl wir uns physisch und psychisch (z.B. hinsichtlich Kompetenzen und Einstellungen, aber auch hinsichtlich der Lebensumstände, in denen wir uns befinden) im Laufe eines Lebens verändern, haben wir das Gefühl der Kontinuität, einer durchgehenden Identität unserer selbst. »Was versorgt den Geist mit einem Rückgrat, das für Singularität und Identität sorgt?« Antwort: das Selbst – der mentale Nachfolger des inneren Milieus des Organismus (Damasio 2001, S. 165). Ähnlich wie dieses biochemische innere Milieu ist auch das Selbst nicht durch Homöostase, sondern durch *Homöodynamik* charakterisiert, d.h. es kombiniert Stabilität und Adaptivität.

Unser Gehirn produziert eine Konstruktion (Mahoney 1995), durch die wir uns als Initiatoren und Autoren von Handlungen erleben können, durch die wir ein Bild von uns selbst haben, und durch die wir uns als kohärent und eins mit uns selbst erfahren. Das Selbst könnte man in dieser Hinsicht als einen dynamischen Ordner auf hoher Integrationsstufe bezeichnen, als eine Meta-Repräsentation, mit der sich ein vielfach parallel und hierarchisch funktionierendes Gehirn ein Bild seines Funktionierens-in-der-Welt und eines Aktionszentrums erschafft. Weil es dies so perfekt macht, dachten die Menschen lange, es müsse einen kleinen Homunkulus in uns geben, der uns steuert und die Fäden in der Hand hält. Doch den gibt es nicht, ebenso wenig, wie es eine Steuerungszentrale im Gehirn gibt.

Das Entstehen eines Bewusstseins des Selbst setzt voraus, dass im Gehirn kohärente und konvergente Strukturen arbeiten, innerhalb derer neuronale Aktivierungsmuster aufeinander »abgebildet« werden. Funktionieren die dar-

an beteiligten Schaltkreise nicht, etwa aufgrund von Gehirnläsionen, so kommt es nicht nur zu spezifischen Ausfällen, sondern auch zu Entkopplungen, die sowohl einzelne Funktionen wie auch das Bewusstsein und das Bewusstsein unserer Identität betreffen. Das Selbst ist ein Produkt der Selbstorganisation unseres gesamten Gehirns, wobei bestimmte Bereiche besonders wichtig sind. Folgende Bedingungen liegen der Erfahrung eines kohärenten Selbst zugrunde (vgl. LeDoux 2003, S. 396ff.):

1. Verschiedene neuronale Systeme erfüllen verschiedene Funktionen (z.B. visuelle und auditorische Kortexareale), aber sie gehören zum selben Gehirn und erfahren dieselbe Welt. Die koordinierte parallele Plastizität von Hirnsystemen beruht unter anderem auf dem *gemeinsamen Input* dieser Systeme.
2. Synchronisation wird über weite Entfernungen hinweg durch *synaptische Verschaltungen* und durch *synchrones Feuern* erreicht. Viele komplexere Funktionen wie Wahrnehmung, Gedächtnis, Motivation und Emotion beruhen auf räumlich verteilten, aber kooperierenden Hirnregionen. Durch synchrones Feuern (etwa im Gamma-Band-Bereich) entstehen intra- und intermodale Merkmalsbindungen und kohärente Gesamteindrücke.
3. Die parallel wirkende Plastizität verschiedener Hirnregionen wird durch *modulatorische Systeme* koordiniert. Eine wesentliche Rolle spielen hierbei Kerne im Hirnstamm, von denen Axone in fast alle Hirnregionen laufen und bestimmte Neuromodulatoren, vor allem Monoamine wie Dopamin, Serotonin, Norepinephrin, Epinephrin oder Acetylcholin ausschütten. Neuromodulatoren greifen in die Signalübertragung zwischen Neuronen ein und modulieren vor allem solche Zellen und Synapsen, die bereits aktiv sind, wenn sie eintreffen. Modulatorische Systeme werden bei bedeutsamen Erfahrungen und verstärktem Arousal mobilisiert. Sie fördern damit selektiv die Informationsübertragung in denjenigen Synapsen, die eben diese Erfahrungen gerade verarbeiten. Wie wir wissen, verstärkt sich die Gedächtnisleistung bei emotional relevanten Erfahrungen. Das hieran beteiligte Norepinephrin fördert die Langzeitpotenzierung von Neuronen. Wenn an den Synapsen hinreichend Serotonin oder Norepinephrin vorhanden ist, kommen molekulare Kaskaden in Gang, die die synaptische Plastizität fördern. Neuromodulatoren sind nach Freisetzung relativ lange wirksam und beeinflussen unterschiedliche Neuronen auf unterschiedliche Weise (z.B. wirkt Serotonin in Kombination mit bestimmten Rezeptoren exzitatorisch, in Kombination mit anderen inhibitorisch). Aufgrund ihrer breit gestreuten Aktivität ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sie diejenigen aktiven Syn-

apsen verschiedener Verarbeitungssysteme erreichen, in denen unterschiedliche Aspekte einer Erfahrung gerade prozessiert und kodiert werden.

Beim Einfluss der Neuromodulatoren auf die Plastizität neuronaler Systeme handelt es sich im Sinne der Synergetik um die Wirkung von Kontrollparametern. Die Selektivität der Systeme für ihre Kontrollparameter findet sich hier auf der Ebene der einzelnen Zellen und hängt von ihrem Aktivitätszustand und ihren Rezeptortypen ab.

4. Die parallele Plastizität einzelner neuronaler Systeme wird in *Konvergenz-zonen* aufeinander abgestimmt. Konvergenzzonen sind Systeme, in denen Informationen aus verschiedenen Regionen zusammenlaufen und miteinander integriert werden. Beispielsweise finden sich solche Konvergenzzonen im präfrontalen Kortex oder im anterioren cingulären Kortex. Aktivitäten der visuellen, der auditorischen, der somatischen und motorischen Verarbeitung werden unter anderem in perirhinalen, parahippocampalen und entorhinalen Bereichen integriert und von dort aus in den Hippocampus weitergeleitet. Spezifische sensorische Repräsentationen werden hier zu multimodalen und zu konzeptuellen Repräsentationen. Der am Aufbau expliziter Langzeiterinnerungen und an der Generierung komplexer relationaler Zusammenhänge beteiligte Hippocampus ist somit eine Art *Meta-Konvergenzzone*. Wenn es in einzelnen Regionen zu Neuerschaltungen kommt, dann mit Sicherheit auch in den Integrationsarealen, weil diese die Aktivitäten registrieren, die in den einzelnen Regionen auftreten. Synchroner Aktivierungen und der Einfluss von Neuromodulatoren wirken natürlich auch auf diese Konvergenzzonen und steigern deren Integrationsleistung. Eine Veränderung neuronaler Muster in Konvergenzzonen wirkt auf die dorthin projizierenden Systeme zurück. Die Entstehung von Ordnern in hierarchisch höheren Systemen hat Einfluss auf die Selbstorganisationsprozesse, die in den untergeordneten Systemen stattfinden.
5. Eine wesentliche Meta-Konvergenzzone sind die Gedächtnisareale im medialen Temporallappen. Sie können bewusste Erinnerungen erzeugen, in welche die von anderen Systemen gesondert und implizit kodierten Elemente integriert sind. Das aktuelle Bewusstsein kann allerdings auf die Konstruktionsleistungen des medialen Temporallappens nur zugreifen, wenn diese ins *Arbeitsgedächtnis* gelangen. In diesem präfrontalen Funktionssystem findet sozusagen unsere momentane Wirklichkeit, der subjektive Augenblick statt. Die Objekte unserer Erfahrung und unser Selbst-Sinn werden darin aufeinander bezogen. LeDoux (2003) spricht davon, dass im Arbeitsgedächtnis ein *Arbeits-Selbst* entsteht, ein Augenblicksgebilde, das für die simultane Verarbeitung aller möglichen Erfahrungen, die Entscheidungsfindung und

Verhaltenssteuerung wesentlich ist. Im Sinne einer »Verursachung nach unten« liefern die neuronalen Aktivierungsmuster des Arbeitsgedächtnisses, aber auch anderer Konvergenzzonen die Kontrollparameter und Randbedingungen für die Selbstorganisation, d.h. die Aktivierungsmuster und die neuronale Plastizität in den untergeordneten Systemen.

Neben einem kognitiven kann man auch von einem *emotionalen Arbeitsgedächtnis* ausgehen, das unter anderem im ventromedialen Bereich des präfrontalen Kortex zu verorten ist. In diesem emotionalen Arbeitsgedächtnis werden emotionale Qualitäten, Vorstellungen und Antizipationen verfügbar gemacht und aufrechterhalten, und zwar auch in Abwesenheit von aktuellen emotionsauslösenden Ereignissen, was z.B. für die Antizipation von zukünftigen Entscheidungskonsequenzen ganz wesentlich ist. Die dorsolaterale Region des präfrontalen Kortex ermöglicht in Ergänzung hierzu eine Repräsentation von Zielzuständen, auf welche Emotionen und Motivationen sowie die daraus resultierenden Aktionen gerichtet sind.

6. Eine entscheidende Rolle bei der Koordination neuronaler Systeme spielen die *Emotionen*. Einerseits ist Kopplung der wesentlichen Lernmechanismus von emotionalen Systemen: Bei der klassischen Konditionierung etwa koppeln sich Erfahrungen und Eindrücke aneinander. Die dadurch entstehenden Strukturveränderungen bilden die Voraussetzungen für weitere emotionale Lernerfahrungen. Emotionale Reize sind andererseits die wichtigsten Impulsgeber für die modulatorischen Systeme im Hirnstamm. Von dort wird auch unser gesamtorganismisches Aktivierungs- und Energieniveau geregelt (vgl. Lambert et al. 2003). Die Amygdalae, welche bei Gefahrensituationen aktiv werden, haben unmittelbare Einwirkungen auf diese Hirnstammareale (Umschaltung von parasympathischer auf sympathische Aktivität, Neuromodulatorenwirkung auf das gesamte Gehirn). Zudem hat sie Wirkung auf die Ausschüttung verschiedener Hormone (z.B. Adrenalin und Noradrenalin über Hypothalamus und die Stress-Achse), auf die Aktivität des benachbarten Hippocampus (Memorierung gefahrenrelevanter Situationen) und auf verschiedenste Areale des Kortex (z.B. Motorik, Aufmerksamkeit) (LaBar & LeDoux 2003). Emotionale Systeme und Motivzustände, die für überlebenswichtige Funktionen zuständig sind (Erkennen und Abwehr von Gefahren, Sexualverhalten, Nahrungsbeschaffung), weisen eine deutliche Ausschließlichkeit auf. Sie hemmen sich gegenseitig und tendieren dazu, viele Funktionssysteme des gesamten Gehirns zu versklaven und in ihrem Sinne zu synchronisieren. Die Mobilisierung von Emotionen konzentriert und beansprucht umfangreiche kognitive und energetische Ressourcen für sich. In stark emotionalen Zuständen sind in der Regel mehr Hirnsysteme aktiviert als in affektneutraleren bzw. weni-

ger stark emotionsgeladenen Zuständen. Der Arousalgrad ist höher, womit koordiniertes Lernen zwischen verschiedenen Hirnsystemen erleichtert wird. »Emotionale Zustände fördern die Entwicklung und Vereinheitlichung des Selbst, weil sie parallele plastische Vorgänge im gesamten Gehirn aufeinander abstimmen« (LeDoux 2003, S. 422).

7. Ähnlich wie Emotionen haben auch Motive einen stark synchronisationsfördernden Effekt. *Motivation* bedeutet, dass angeborene oder erlernte Anreize Emotionssysteme aktivieren und das Gehirn in einen Zustand versetzen, der mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem instrumentellen Verhalten im Sinne der Zielerreichung bzw. des Anreizes führt (LeDoux 2003, S. 317). Speziell sind dopaminerge Systeme, die durch Arousal in der ventral-tegmentalen Region des Hirnstamms getriggert werden, am Motivationssystem beteiligt, d.h. an der antizipatorischen Phase einer motivorientierten Handlung. Die positiven Gefühle der Wunscherreichung (konsumatorische Phase) werden dagegen eher von körpereigenen Opiaten vermittelt. An zentraler Stelle dopaminerg motivationaler Schaltkreise ist der Nucleus accumbens positioniert. An der Schnittstelle zwischen Emotion und Motorik kommt dieser Region eine wichtige Rolle zu, wenn es darum geht, Emotionen auf zielorientiertes Verhalten hin zu orientieren und in solches zu transformieren. Motivzustände führen zu intensiverer Koordination von Informationsverarbeitungsprozessen innerhalb und zwischen Hirnregionen, mobilisieren Verhalten und richten es auf die Erreichung oder Vermeidung bestimmter Erfahrungen aus (Approach vs. Avoidance). Man kann ihnen daher eine wichtige Funktion als Kontrollparameter zuschreiben. Treten innere oder äußere Anreize auf, haben emotionale Strukturen wie die Amygdala eine verstärkte Wirkung auf die Mobilisierung und Lenkung von Verhaltensweisen, da sowohl der Nucleus accumbens wie auch das Pallidum durch einen erhöhten Dopaminspiegel sensibilisiert und besonders aktionsbereit sind.
8. Unser Selbst wird in entscheidender Weise von der Möglichkeit zusammengehalten, ein *autobiographisches Gedächtnis* anzulegen. Jede einzelne Erfahrung und jeder Puls des Kernbewusstseins wird damit in persönliche und individuell-historische Bezüge eingebaut. Es entsteht eine »... Brücke zwischen dem fortlaufenden Prozess des Kernbewusstseins, das in seiner Vergänglichkeit wie Sisyphus zum ewigen

Neuanfang verdammt ist, und einem stetig anwachsenden Komplex von fest verwurzelten Erinnerungen an singuläre historische Fakten und dauerhafte Merkmale des Individuums« (Damasio 2001, S. 210). Diese Brücke ist auch der Schlüssel zum erweiterten Bewusstsein, welches stattfindet, wenn das Arbeitsgedächtnis *gleichzeitig* ein bestimmtes repräsentiertes Objekt *und* das autobiographische Selbst aktiv hält, mit anderen Worten, wenn sowohl ein bestimmtes Objekt als auch die Objekte der eigenen Biographie gleichzeitig Kernbewusstsein erzeugen.

Wie wir sehen, ist das »Selbst« ein durchaus aufwendig hergestelltes neuronales Konstrukt, das auf einer engen Koordination von kognitiven, emotionalen und motivationalen Prozessen sowie von implizit und explizit (bewusst) arbeitenden Systemen beruht.

## 5 Die Grenzen des Emergentismus

Können wir das Problem der Entstehung qualitativer Bewusstseinszustände aus neuronalen Prozessen nun als gelöst betrachten, indem wir sagen, sie würden aus den hier beschriebenen neuronalen Selbstorganisationsprozessen emergieren? Man darf skeptisch bleiben.

Vielleicht sollte man zunächst die Frage stellen, welchen Begriff von Emergenz wir hier überhaupt meinen. Die Philosophie (z.B. Stephan 1999) kennt eine ganze Reihe verschiedener Bedeutungen dieses Wortes, wobei in diesem Zusammenhang vielleicht die wichtigste Unterscheidung die zwischen starker (nicht reduktiver) und schwacher (reduktiver) Emergenz ist. Schwache Emergenz würde bedeuten, dass die makroskopischen Eigenschaften eines Systems, die zweifellos andere sind als die Eigenschaften der Teile des Systems (z.B. können Flüssigkeitssysteme, bestehend aus Myriaden von Molekülen, Konvektionsströmungen ausbilden, einzelne Moleküle können das nicht), aus eben den Eigenschaften der Teile vorhergesagt und reduktiv erklärt werden können. Eben dies hat die Synergetik für zahlreiche physikalische Systeme geleistet. Insofern die Synergetik nun beschreibt und mathematisch modelliert, wie die Ordnern, die sich gegenüber den Teilen auf einer makroskopischen Ebene befinden, in einem Prozess der Top-down-bottom-up-Kreiskausalität die Teile »versklaven«, macht sie auch deutlich, wie makroskopische auf mikroskopische Prozesse wirken. Das alles findet innerhalb einer physikalisch geschlossenen Wirkwelt statt. Bezogen auf das Gehirn würde dies bedeu-



ten, dass neuronale Muster im Gehirn aus der Aktivität einzelner Neurone oder die Wirkung komplexer Schaltkreise aus dem Zusammenspiel einzelner neuronaler Netze erklärt werden können und umgekehrt, oder wie sensorischer Input oder Neuromodulatoren als Kontrollparameter auf physiologische Aktivierungsmuster bzw. auf Übergänge zwischen solchen wirken. Bei all dem verlässt man allerdings die Ebene physiologisch-materieller Prozesse nicht. Mit Blick auf die Qualia mentaler Vorgänge würde das bedeuten, dass man – wie gehabt – im Bereich der Korrelate und der neuronalen Voraussetzungen oder Bedingungen für das subjektive Erleben von Qualia bleibt. Der ultimative Sprung zwischen Materie und Geist ist hier nicht vorgesehen.

Beruft man sich auf einen starken Begriff von Emergenz, bei dem nun qualitativ neue und andersartige Systemeigenschaften (z.B. Bewusstseinsphänomene) zwar aus dem Zusammenspiel der Teile resultieren sollen, aber offenbleibt, wie das funktionieren kann (ein Erklärungsanspruch wird also aufgegeben), während zugleich auch eine Kausalität von oben zugelassen wird (Kausalität mentaler Vorgänge auf physiologische Prozesse), so erkennt man ziemlich schnell, dass man sich damit viele Probleme einhandelt: Man befindet sich mitten in einem substanzdualistischen Interaktionismus, der es ja bis heute nicht geschafft hat zu zeigen, wie eine solche Kausalität von oben (d.h. hier: immaterieller mentaler Vorgänge auf materielle, z.B. neurochemische Vorgänge) überhaupt möglich ist. Für die Neurowissenschaften ist mit dem Verzicht auf Erklärung, der hier ja auch schon Bottom-up eingekauft wird, nichts gewonnen.

Damit befinden wir uns auch mitten im Dschungel der verschiedenen Lösungsvorschläge der Geist-Hirn-Philosophie, über die ein endgültiges Urteil noch lange ausstehen wird. Durchaus vorstellbar ist es, dass eine zufriedenstellende Brücke zwischen den Phänomenbereichen des Mentalen und des Physischen nie gefunden wird, obwohl wir über die Korrelationen zwischen neurobiologischen und psychischen Vorgängen zum Teil schon sehr gut Bescheid wissen und in Zukunft sicher noch viel besser Bescheid wissen werden. Es kann – um ein Bild von Karl Jaspers (1973) zu verwenden – die Kafkaeske Situation eintreten, dass die Tunnelbohrungen sowohl von Seiten der Neurowissenschaften als auch von Seiten der Psychologie erfolgreich vorangetrieben werden, sich die beiden Stollen aber trotzdem nicht treffen. Der Physiologe Emil Dubois-Reymond behielt dann Recht, wenn er in seiner berühmten Rede »Über die Grenzen des Naturerkenntnis« (1872) sagte: *Ignoramus et ignorabimus*.

Der Unterschied zwischen Erfahrungen aus der Perspektive der ersten Person (eigene Erfahrungen und eigenes Erleben) und der dritten Person (Beobachtungen und Beschreibungen) bleibt vielleicht grundsätzlich und unabhängig von jeder wissenschaftlichen Erkenntnis erhalten. Solange es nicht möglich ist, subjektive mentale Zustände auf objektive mentale Zustände zu reduzieren, werden wir bei korrelativem Wissen oder bei der Beschreibung von Gehirnfunktionen stehenbleiben, die als *Voraussetzungen* für phänomenales Bewusstsein gelten können. Die Möglichkeiten eines schwachen Emergentismus sollten dabei nicht gering veranschlagt werden:

- Es ist sicher viel gewonnen, die Veränderung und Entstehung dynamischer Muster in komplexen Systemen experimentell bzw. empirisch untersuchen und – wo es gelingt – mathematisch modellieren zu können. Dies ist im Bereich der Gehirndynamik an verschiedenen Beispielen gelungen, z.B. bei epileptischen Zuständen, bei der neuronalen Generierung des Parkinsonschen Tremor, in der Funktion motorischer Systeme oder im Bereich der Wirkung von Hirnstammfunktionen (Haken 2002; Lambertz et al. 2003; Tass 2003). Im Bereich der funktionellen Bildgebung sind wichtige Fortschritte aus der Abbildung von Prozessen (Real-Time-fMRI, z.B. Weiskopf et al., 2003) und aus der mathematischen Modellierung von gekoppelten Systemaktivitäten (Dynamic Causal Modelling, Friston et al. 2003) zu erwarten. Eine primär »Imaging« betreibende Neuroscience wird in Zukunft um eine »Computing« (d.h. mathematisch modellierende) Neuroscience zu ergänzen sein.
- Zahlreiche empirische Einzelbefunde können in eine theoretische Modellierung neuronaler und neurochemischer Prozesse integriert werden, welches ohne Homunkuli im Inneren oder im Äußeren des Gehirns auskommen. Damit wird nicht nur verstehbar, wie das Gehirn seine eigene Komplexität reduziert, es wird auch die Komplexität vielfältiger und verschiedenartiger Befunde reduziert.
- Die Möglichkeiten synergetischer Modellierung greifen bei rein materiellen (und in entsprechender Weise, z.B. chemisch oder elektrophysiologisch gemessenen) Phänomenen wie auch bei solchen, die mit psychologischen Methoden operationalisiert werden. Bio-psycho-soziale Zusammenhänge (deren Berücksichtigung ja immer gefordert wird)

sind also in ein und demselben Modellierungs- und Forschungsansatz behandelbar. Das ist elegant und forschungspragmatisch wie für die Praxis höchst relevant, impliziert aber keine induktive Erklärung mentaler Phänomene aus materiellen Phänomenen. Das Forschungsprogramm der Synergetik ist auch dann im Sinne einer makroskopischen Synergetik realisierbar, wenn eine reduktive Erklärung mentaler Phänomene scheitert.

- Grundsätzlich werden eine Methodik und ein theoretisches Instrumentarium eingeführt, welches die zeitliche Dynamik psychischer, sozialer und neuronaler Systeme in den Mittelpunkt stellt. Für fast alle Fragen, z.B. des Lernens, der Entwicklung, des Denkens, des Handelns, der interpersonellen Kommunikation, sind solche Möglichkeiten unverzichtbar.

Was die neurophilosophischen Positionen zur Problematik des Bewusstseins und des Selbst betrifft, scheinen auf der Grundlage der bisherigen Ausführungen monistische Positionen plausibler als dualistische (Vogel 1995; Pauen 2001). In Frage kommen z.B. die Identitätstheorie oder eine funktionalistische Position (vgl. ausführlich aus Sicht der Theorie neuronaler Selbstorganisation Haken & Schiepek 2006). Auch wenn die Spielarten des Emergentismus (ebenso wie andere) in der Frage des Geist-Hirn-Problems keine ultimativen Lösungen anbieten können, gelingt der Theorie der Selbstorganisation doch eine Modellierung unterschiedlicher Emergenzebenen (z.B. deren dynamische Synchronisation oder Desynchronisation) und die Berücksichtigung der Dimension Zeit in der Evolution prozessualer, funktionaler und struktureller Muster auf unterschiedlichen Zeitskalen. Notwendig ist dafür ein methodischer Dualismus oder Pluralismus, um den am bio-psycho-sozialen System »Mensch« beteiligten Emergenzebenen (hier rein phänomenologisch verstanden) gerecht zu werden.

## Literatur

- Atmanspacher, H., Dalenoort, G. J. (1994) Inside Versus Outside. Endo- and Exo-Concepts of Observation and Knowledge in Physics, Philosophy, and Cognitive Science. Berlin.
- Ciampi, L. (1997) Die emotionalen Grundlagen des Denkens. Entwurf einer fraktalen Affektlogik. Göttingen.
- Damasio, A. R. (2001) Ich fühle, also bin ich. Die Entschlüsselung des Bewusstseins. Übers. v. Hainer Kober. 3. Aufl. München.
- Davidson, R. J., Scherer, K. R., Goldsmith, H. H. (Eds.) (2003) Handbook of Affective Sciences. New York.
- Edelman, G. M., Tononi, G. (2002) Gehirn und Geist. Wie aus Materie Bewusstsein entsteht. Übers. v. Susanne Kuhlmann-Krieg. München.
- Flohr, H. (1992). Die physiologischen Bedingungen des phänomenalen Bewusstseins. Forum für interdisziplinäre Forschung 1, 49-55.
- Freeman, W. J. (1995). Societies of Brains. Hillsdale NJ.
- Friston, K. J., Harrison, L., Penny, W. (2003) Dynamic causal modelling. Neuroimage 19, 1273-1302.
- Haken, H. (2002) Brain Dynamics. Berlin.
- Haken, H. (2004) Synergetics. Introduction and Advanced Topics. Berlin.
- Haken, H., Schiepek, G. (2006). Synergetik in der Psychologie. Selbstorganisation verstehen und gestalten. Göttingen.
- James, W. (1890/1950) Principles of Psychology. Vol. 1. New York.
- Jaspers, K. (1973). Allgemeine Psychopathologie. 9. Aufl. Berlin.
- LaBar, K. S., LeDoux, J. E. (2003) Emotional learning circuits in animals and humans. In: R. J. Davidson, K. R. Scherer, H.H. Goldsmith (Eds.), Handbook of Affective Sciences. Oxford, 52-65.
- Lambertz, M., Vandenhousten, R., Langhorst, P. (2003). Transiente Kopplungen von Hirnstammneuronen mit Atmung, Herzkreislaufsystem und EEG: Ihre Bedeutung für Ordnungsübergänge in der Psychotherapie. In: G. Schiepek (Hg.) Neurobiologie der Psychotherapie. Stuttgart, 302-324.
- LeDoux, J. (2001) Das Netz der Gefühle. Wie Emotionen entstehen. Übers. v. Friedrich Griese. München.
- LeDoux, J. (2003) Das Netz der Persönlichkeit. Wie unser Selbst entsteht.

- Übers. v. Christoph Trunk. Düsseldorf/Zürich.
- Lewin, K. (1963) Feldtheorie in den Sozialwissenschaften. Übers. v. A. Lang u. U. W. Lohr. Bern.
- Mahoney, M. J. (1995). Constructive Psychotherapy: Principles and Practice. New York.
- Mainzer, K. (1997) Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind. Berlin.
- Pauen, M. (2001) Grundprobleme der Philosophie des Geistes. Frankfurt/M.
- Roth, G. (2001) Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert. Frankfurt/M.
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., Shulman, G. L. (2001)** A default mode of brain function. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 98, 676-682.
- Schiepek, G. (1991) Systemtheorie der Klinischen Psychologie. Braunschweig.
- Stephan, A. (1999) Emergenz. Von der Unvorhersehbarkeit zur Selbstorganisation. Dresden.
- Tass, P. A. (2003) A model of desynchronization deep brain stimulation with a demand-controlled coordinated reset of neural subpopulation. Biological Cybernetics D01, 1007/S00422-003-0425-7.
- Vogel, K. (1995) Repräsentation und Identität. Konvergenz von Hirnforschung und Gehirn-Geist-Philosophie. (Erfahrung und Denken, Bd. 77). Berlin.
- Weiskopf, N., Veit, R., Erb, M., Mathiak, K., Grodd, W., Goebel, R., Birbaumer, N. (2003) Physiological self-regulation of regional brain activity using real-time functional magnetic resonance imaging (fMRI): Methodology and exemplary data. Neuroimage 19, 577-586.

## Anmerkung:

- \* Erstabdruck in: F. Resch & M. Schulte-Markwort (Hg.) (2006) Kursbuch für integrative Kinder- und Jugendpsychotherapie. Schwerpunkt: Psyche und Soma. Weinheim: Beltz-PVU, 5-22.