

Achim Stephan
Zur Rolle des Emergenzbegriffs
in der Philosophie des Geistes und
in der Kognitionswissenschaft

In der Philosophie des Geistes und in der Kognitionswissenschaft ströbt der Begriff der Emergenz seit den frühen 1990er-Jahren auf zunehmendes Interesse.¹ Ihm wird zugeraut, sowohl besondere philosophische Schwierigkeiten wie etwa das Problem der phänomenalen Qualitäten – das so genannte *hard problem of consciousness* – treffend zu klassifizieren als auch nicht explizit programmierte, sondern im Rahmen von Selbstorganisationsprozessen entstehende Verhaltensweisen künstlicher Systeme adäquat zu charakterisieren. Eine nähere Betrachtung zeigt allerdings, dass es keinen einheitlichen Emergenzbegriff gibt, der beiden Aufgaben gerecht wird. Die »Kandidaten« für Emergenz in Philosophie des Geistes und Kognitionswissenschaft sind zu verschiedenen voneinander: Mentale Phänomene, die sich als sperrig gegenüber reduktiven Erklärungsversuchen erweisen, erfordern für ihre Klassifikation einen sehr starken Emergenzbegriff, der zwar im Rahmen metaphysischer Fragestellungen große Bedeutung für die Philosophie des Geistes hat, in den übrigen Disziplinen der Kognitionswissenschaft (und in den Naturwissenschaften) aber so gut wie keine Rolle spielt. Startlassen geht es dort in der Regel um Verhaltensweisen komplexer dynamischer Systeme, die auf der Makroebene erstaunliche Muster und Regelmäßigkeiten zeigen, ohne sich jedoch als widerspenstig gegenüber reduktiven Erklärungen zu erweisen; vielmehr kann deren Verhalten häufig auf einfache Interaktionen einer Vielzahl einfacher Komponenten zurückgeführt werden.

Obzwar die Philosophie des Geistes eine der Disziplinen ist, die mit der Kognitiven Psychologie, Künstlichen Intelligenz, Robotik, Computerlinguistik und den Neurowissenschaften, um nur einige

¹ Zu Beginn des 20. Jahrhunderts kam es zu einer ersten Blütezeit für Emergenztheorien: Damals ging es in Philosophie und Biologie darum, einen mittleren Weg zwischen Vitalismus und Mechanismus zu finden. Zur Geschichte und Problematik des Emergenzismus vgl. Stephan, *Emergenz*.

zu nennen, die Kognitionswissenschaft konstituiert, ist es daher sinnvoll, im Rahmen der Emergenz-Debatte die philosophisch interessanten Phänomene gesondert von den übrigen kognitionswissenschaftlich beachtenswerten Phänomenen zu diskutieren.

1. Spielarten des Emergenzismus

Im Folgenden werde ich verschiedene Varianten des Emergenzismus vorstellen und diese in Beziehung zu spezifischen Problemen setzen, die für die Philosophie des Geistes und die Kognitionswissenschaft, dort besonders den Konnektionismus und die Robotik, relevant sind. Unter den verschiedenen Spielarten des Emergenzismus sind drei Theorien besonders hervorzuheben: der *schwache* Emergenzismus, der *synchrone* Emergenzismus und der *diachrone* (Struktur-) Emergenzismus. Der schwache Emergenzismus, der durchaus mit verschiedenen Versionen des Reduktionismus kompatibel ist, stellt die gemeinsame Basis für alle anspruchsvolleren Emergenztheorien dar. Diese ergeben sich aus jenem durch das Hinzufügen stärkerer Thesen. So berücksichtigt der diachrone Emergenzismus Aspekte der Neuartigkeit und Unvorhersagbarkeit, der synchrone Emergenzismus das Merkmal der Irreduzibilität. Auf die näheren Details dieser Positionen komme ich gleich zurück. Beginnen wir mit dem schwachen Emergenzismus.

1. Schwache Emergenz

Der *schwache* Emergenzismus vereint verschiedene Minimalanforderungen an emergente Eigenschaften. Die drei Thesen, die ihn konstruieren – die *These des physischen Monismus*, die *These der systemischen Eigenschaften* und die *These der synchronen Determiniertheit* –, sind auch mit einer reduktionistischen Position vereinbar.

Das erste Merkmal ist eine These über die *Beschaffenheit der Systeme*, die emergente Eigenschaften haben. Sie besagt, dass die Träger der emergenten Eigenschaften ausschließlich aus physischen Entitäten bestehen. Mögliche Kandidaten für emergente Eigenschaften wie »lebendig zu sein«, »einen Dur-Dreiklang zu hören« oder »starke Angst zu spüren« werden nach der *These des physischen Monismus*

allein durch physische Systeme mit einer hinreichend komplexen Mikrostruktur instantiiert. Diese schließt zugleich aus, dass für das Haben emergenter Eigenschaften übernatürliche Komponenten wie eine *Enlechte* oder eine *res cogitans* verantwortlich sind. Im besondern bedeutet dies, dass Systeme, die lebendig sind oder Geist haben – seien sie natürliche oder artifizielle Systeme –, aus den gleichen basalen Bausteinen bestehen wie die unlebenden Dinge der Natur.

Physischer Monismus: Die im Universum vorhandenen und existierenden Systeme setzen sich ausschließlich aus physischen Entitäten zusammen. Auch die als emergent zu charakterisierenden Eigenschaften, Dispositionen, Verhaltensweisen oder Strukturen werden nur von solchen Systemen instantiiert, die ausschließlich aus physischen Komponenten bestehen.

Während die erste These die Diskussion emergenter Eigenschaften und Strukturen in den Rahmen eines physikalistisch-naturalistischen Rahmens stellt, der insbesondere hinsichtlich künstlicher Systeme auch kaum anders zu denken ist, grenzt die zweite These den Typus der Eigenschaften ein, die überhaupt als mögliche Kandidaten emergenter Phänomene in Frage kommen. Es ist die *These der systemischen Eigenschaften*. Dieser These liegt die Annahme zugrunde, dass die allgemeinen Eigenschaften komplexer Entitäten in zwei verschiedene Gruppen zerfallen:² (1) in solche Eigenschaften, die auch einige der Systembestandteile haben, und (2) in solche, die kein Bestandteil des Systems hat. Beispiele für Elemente der ersten Gruppe sind Eigenschaften wie »ausgedehnt zu sein« oder »eine Geschwindigkeit zu haben«. Beispiele für die zweite Gruppe sind u. a. »zu fliegen«, »sich fortpflanzen zu können«, »zu atmen« oder »einen Juckreiz zu spüren«. Diese werden als *systemische* oder *kollektive* Eigenschaften bezeichnet.

Systemische Eigenschaften: Emergente Eigenschaften sind systemische (oder kollektive) Eigenschaften. Eine Eigenschaft ist genau dann systemisch, wenn ein System als Ganzes sie hat, aber wenn kein Bestandteil des Systems eine Eigenschaft dieses Typs hat.

Das es sowohl künstliche als auch natürliche Systeme mit systemischen Eigenschaften gib, dürfte unstrittig sein. Wer dies leugnet

² Unter allgemeinen Eigenschaften verstehe ich hier Eigenschaften eines generellen Typs wie »eine Masse« oder »eine Farbe« zu haben, nicht aber spezifische Eigenschaften wie »eine Masse von 64, 58 kg« oder »die Farbe Purpur« zu haben.

wollte, müsste die Auffassung vertreten, dass *alle* Systemeigenschaften bereits von einigen der Systembestandteile exemplifiziert werden. Dem widersprechen zahllose Beispiele.

Während die erste These den Typ der Bausteine eingrenzt, aus denen sich Systeme mit emergenten Eigenschaften zusammensetzen, und die zweite These den Typ der Eigenschaften näher charakterisiert, die für Emergenz in Frage kommen, spezifiziert die dritte These den Typ des Verhaltens, das zwischen der Mikrostruktur eines Systems und dessen emergenten Eigenschaften besteht, als eines der synchronen Determiniertheit:

Synchrone Determiniertheit: Die Eigenschaften und Verhaltensdispositionen eines Systems hängen nomologisch von dessen Mikrostruktur, das heißt den Eigenschaften seiner Bestandteile und deren Anordnung ab. Es kann keinen Unterschied in den systemischen Eigenschaften geben, ohne dass es zugleich Unterschiede in der Anordnung oder in den Eigenschaften der Systembestandteile gibt.

Jemand, der bereit wäre, die *These der synchronen Determiniertheit* der Systemeigenschaften abzulehnen, müsste entweder Eigenschaften zulassen, die nicht an die Anordnung der Bestandteile ihres Trägers und deren Eigenschaften gebunden sind, oder annehmen, dass ein anderer, in diesem Falle nichtnatürlicher Faktor für die unterschiedlichen Dispositionen struktur- und baustein-identischer Systeme verantwortlich ist. Beides erscheint ziemlich unplausibel.

Die Kognitionswissenschaft kennt eine ganze Reihe schwach emergenter Eigenschaften. So verfügen konnektionistische Netze als Gesamtsysteme über so bemerkenswerte Fähigkeiten wie das Generieren und Befolgen von Regeln, das Bilden von Schemata und das Erkennen von Mustern – alles Eigenschaften und Verhaltensweisen, die ihre einzelnen Bestandteile (ihre Einheiten und Verbindungen) nicht haben. Auch aus der Robotik und der *Artificial-Life-Forschung (A-Life)* sind zahlreiche Systeme bekannt, die über Eigenschaften verfügen, die ihre Bestandteile nicht haben: So können Roboter u. a. Fußball spielen, Autos montieren, bei Operationen assistieren und Sprachspiele beginnen. Im *A-Life* weichen *boids* (künstliche Vögel) in rasanten Schwarmbewegungen verschiedenen Hindernissen aus, andere künstliche »Lebewesen« bauen Nester, wie wir sie sonst nur von Termiten kennen.

Es ist jedoch nicht besonders aufschlussreich, wenn wir erfahren, dass viele Eigenschaften von konnektionistischen Netzen, Robotern

und *A-Life*-Kreaturen im schwachen Sinne emergent sind, denn es gibt schlicht zu viele Eigenschaften, die in diesem Sinne »emergent« genannt werden können. Die Welt ist voller Eigenschaften, die nur auf der Systemebene und nicht auf der Ebene der Systemkomponenten aufreten. Auch die Härte eines Diamanten ist in diesem Sinne eine emergente Eigenschaft, da sie nur dem Gesamtsystem und nicht den Kohlenstoffatomen zukommt, die in etwas anderer Anordnung den sehr viel weicheren Graphit instantieren. Der schwache Emergentismus »schneider« die Natur zwar an ihren »Scharnieren«, doch diese sind zu zahlreich: Es ist deshalb nichtssagend, wenn die für Kognitionswissenschaftler besonders interessanten System-eigenschaften das Prädikat »schwach emergent« erhalten.

Eine Möglichkeit der Verstärkung des schwachen Emergentismus besteht darin, die sowohl im Rahmen evolutionärer Vorgänge als auch bei der Entwicklung neuer Artefakte wichtige *These der Neuartigkeit* hinzuzufügen und den schwachen Emergentismus damit um einen diachronen Aspekt zu ergänzen:

Neuartigkeit: Im Universum kommt es immer wieder zur Entstehung von genuin Neuartigem. Bereits bestehende Entitäten fügen sich zu neuen Konstellationen, sie bilden neue Strukturen aus, die neue Systeme mit neuen Eigenschaften und Verhaltensdispositionen konstituieren.

Zwar werden mit dieser These zugleich alle präformationistischen Positionen ausgeschlossen, das bloße Hinzufügen der Neuartigkeitsthese macht jedoch aus einer schwachen noch keine starke Emergenztheorie, da der reduktive Physikalismus auch mit dieser Spielart des Emergentismus kompatibel bleibt. Erst wenn man eine weitere These, nämlich die der *prinzipiellen Unwohnsagarkeit*, hinzufügte, erhielte man eine stärkere diachrone Emergenztheorie, die für die Kognitionswissenschaft von Bedeutung sein könnte. Auf diese komme ich weiter unten zurück.

2. Starke Emergenz

Lassen Sie mich aber zunächst etwas über synchrone Emergenztheorien sagen. Diese sind von großer Relevanz für die Diskussion des psychophysischen Problems, insbesondere für die Formulierung und Analyse nichtreduktiv physikalistischer Positionen in der Phi-

losophie des Geistes.³ Dort stehen Fragen nach dem Verhältnis von mentalen und physischen Eigenschaften im Zentrum des Interesses – zum Beispiel: Können mentale Eigenschaften wie das Haben von *intentionalen* oder *phänomenalen* Zuständen durch Rekurs auf eine physische Basis reduktiv erklärt werden? Antworten wir mit »Nein«, so vertreten wir eine starke emergentistische Position; wir behaupten, dass mentale Eigenschaften *irreduzibel* und damit *synchron emergent* sind. Aber was heißt es genau, dass eine Eigenschaft nicht reduktiv erklärt werden kann?

Die Frage nach reduktiven Erklärungen stellt sich üblicherweise, wenn wir verstehen wollen, weshalb eine bestimmte Entität eine bestimmte Eigenschaft hat, und zwar eine Eigenschaft, die in der Regel nur dem Systemganzen zugeschrieben wird. In trivialen Fällen genügt die einfache Addition der entsprechenden Eigenschaften der Komponenten. Auf diese Weise ergibt sich das Gewicht eines Fahrzeugs als die Summe des Gewichtes seiner Teile. Das Fahrverhalten des Wagens in engen Kurven – eine ungleich interessantere Eigenschaft – lässt sich dagegen nicht so einfach ableiten. Denn hier kommt es entscheidend darauf an, wie die einzelnen Bestandteile, insbesondere die Teile des Fahrwerks angeordnet sind, welche Eigenschaften diese haben und wie sie infolgedessen untereinander und mit der Straße interagieren. Ergibt sich das Fahrverhalten unter Zugrundelegung der allgemein geltenden Naturgesetze aus diesen Parametern, so gilt es als reduktiv erklärt. Noch komplizierter gestalten sich solche Erklärungen für die Eigenschaften sich selbst organisierender dynamischer Systeme, insbesondere für Lebewesen.

Das Ziel einer reduktiven Erklärung besteht also darin, die interessierende systemische Eigenschaft allein durch Rekurs auf die Bestandteile des Systems, deren Eigenschaften und Dispositionen, sowie deren Anordnung zu erklären (und gegebenenfalls vorherzu-

³ Im Rahmen seiner Diskussion des *Mechanismus* als einer metaphysischen Theorie formulierte erstmals Charles D. Broad explizit eine synchrone Emergenztheorie. Er charakterisierte sowohl verschiedene chemische als auch biologische und psychische Eigenschaften als mechanisch nicht erklärbare, emergente Eigenschaften (vgl. Broad, *The Mind and Its Place in Nature*, Kapitel II, sowie Stephan, *Emergenz*, S. 3-5). Nach den großen Fortschritten in den Naturwissenschaften schieden jedoch die ursprünglich für emergent gehaltenen chemischen und biologischen Eigenschaften aus dem Kandidatenkreis für synchrone Emergenz aus; vgl. McLaughlin, »The Rise and Fall of British Emergentism«.

sagen). Sie ist erfolgreich, wenn sie die folgenden drei Bedingungen erfüllt:

- (1) die zu reduzierende Eigenschaft ist funktional (re)konstruierbar;
- (2) es lässt sich zeigen, dass die funktionale/kausale Rolle der zu reduzierenden systemischen Eigenschaft durch die Interaktionen der Bestandteile des Systems erfüllt wird;
- (3) das Verhalten der Teile innerhalb des Systems ergibt sich aus deren Eigenschaften und Verhalten in Isolation oder in einfacheren Systemen.

Manche Autoren, zu denen u. a. Jaegwon Kim und Joseph Levine zählen, verzichten auf die letzte dieser drei Bedingungen. In jedem Falle ist jedoch erforderlich, dass wir die zu erklärende Eigenschaft beziehungsweise das zu erklärende Verhalten zunächst in der richtigen Weise begrifflich »präparieren«.⁴ So fordert Kim als ersten Schritt auf dem Weg zu einer reduktiven Erklärung:

Funktionalisiere die Eigenschaft, die reduziert werden soll, das heißt charakterisiere die Eigenschaft anhand ihrer kausalen Rolle. Diese Charakterisierung soll in Begriffen der Eigenschaften der Basisebene vorgenommen werden.⁵

Gesucht ist demnach eine funktionale Charakterisierung der reduktiv zu erklärenden Eigenschaft, auf die wir uns gewöhnlich mit einem Begriff beziehen, der Eigenschaften auf der systemischen Ebene klassifiziert, wobei ein spezifische Muster (wie zum Beispiel Schwarmbewegungen) Kennnis von einer Instanzierung dieser Eigenschaft geben. Der Vorschlag der begrifflichen Präparierung hat das Ziel, den Übergang von der Komponenten-Ebene zur System-Ebene zu ermöglichen. Schlägt diese fehl, so scheitert die angestrebte reduktive Erklärung.

Auch Levine favorisiert im Rahmen seiner Explikation des *explanatory-gap*-Argumentes eine Unterteilung der Reduktionsprozedur in zwei Stufen.⁶

4 «To reduce a property *M* to a domain of base properties we must first »prime« *M* for reduction by construing, or reconstruing, it relationally or extrinsically. This turns *M* into a relational/extrinsic property» (Kim, *Mind in a Physical World*, S. 98).

5 Kim, »Emergenz«, S. 156.

6 Sowohl Kim als auch Levine verzichten auf die dritte Reduktionsbedingung. Wie sich im nächsten Abschnitt zeigen wird, ist diese im Rahmen ihrer Zielsetzung nicht nötig.

Stage 1 involves the (relatively?) quasi) *a priori* process of working the concept of the property to be reduced into shape for reduction by identifying the causal role for which we are seeking the underlying mechanisms. Stage 2 involves the empirical work of discovering just what those underlying mechanisms are.⁷

Reduktive Erklärungen können in zwei gegenläufigen Richtungen gegeben werden. Ist bereits bekannt, dass ein System *S* eine bestimmte systemische Eigenschaft *E* hat, so besteht die Aufgabe darin, unter Berücksichtigung der Mikrostruktur *MS(S)* von *S*, der basalen Naturgesetze und der Interaktionsgesetze, die für die Komponenten *K_i* von *S* gelten, zu zeigen, dass *S* Eigenschaft *E* haben muss. Dabei ist von adäquaten begrifflichen Präparierungen von *E* Gebrauch zu machen. Ist dagegen (wie häufig bei Artefakten) ein System *S* in Entwicklung oder mit seiner Mikrostruktur *MS(S)* gegeben, so besteht die Aufgabe darin, unter Berücksichtigung der (geplanten) Mikrostruktur *MS(S)* von *S*, der basalen Naturgesetze sowie der Interaktionsgesetze, die für die Komponenten *K_i* von *S* gelten, zu ermitteln, ob *S* die (gewünschte) Makroeigenschaft *E* hat. Auch in diesem Fall ist von adäquaten begrifflichen Präparierungen von *E* Gebrauch zu machen.

Scheitern reduktive Erklärungen aus prinzipiellen Gründen, so ist die reduktiv zu erklärende systemische Eigenschaft irreduzibel und damit *synchro*n (und das heißt: in einem starken Sinne) *emergent*.

Ausgehend von den drei Bedingungen für reduktive Erklärungen gibt es folglich auch drei verschiedene Möglichkeiten, weshalb eine Eigenschaft *irreduzibel* sein kann:

Irreduzibilität: Eine systemische Eigenschaft ist *irreduzibel*, wenn sie (1) nicht funktional (re)konstruierbar ist, oder wenn (2) nicht gezeigt werden kann, dass die Systemkomponenten die (re)konstruierte funktionale Rolle erfüllen, oder wenn sich (3) das Verhalten der Systemkomponenten, über dem die systemische Eigenschaft superveniert, nicht aus dem Verhalten der Komponenten ergibt, das diese in Isolation oder in einfacheren Konfigurationen zeigen.

Die These der Irreduzibilität präzisiert in moderner Terminologie die gleichen Bedingungen für *synchrone* Emergenz, die implizit bereits in Broads Unterscheidung zwischen mechanistischen und emergentistischen Theorien enthalten sind. In einer geradezu »klassisch« zu

7 Levine, »On Leaving Our What's Like«, S. 132.

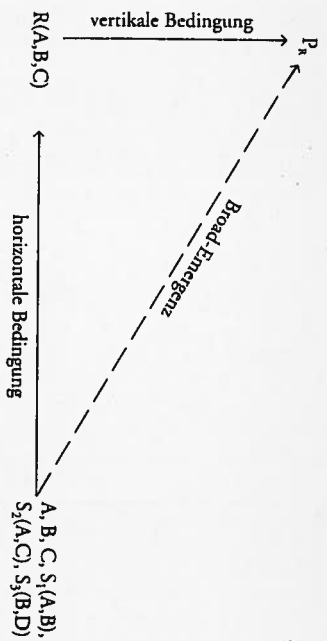


Abb. 1: P_R bezeichnet die reduktiv zu erklärende systemische Eigenschaft; A, B und C referieren auf die Teile, aus denen das System $R(A, B, C)$ besteht; und $S_1(A, B), S_1(A, C)$ und $S_1(B, D)$ stehen für einfachere Systeme als $R(A, B, C)$. Die Diagonale entspricht Broads Idee der synchronen Emergenz, der vertikale Pfeil repräsentiert Bedingung (2), der horizontale Pfeil die in der Philosophie des Geistes üblicherweise nicht in Betracht gezogene Bedingung (3).

nennenden Textpassage aus *The Mind and its Place in Nature* heißt es:

Put in abstract terms the *emergent theory* asserts (i) that there are certain wholes, composed (say) of constituents A, B , and C in a relation R to each other; (ii) that all wholes composed of constituents of the same kind as A, B , and C in relations of the same kind as R have certain characteristic properties; (iii) that A, B , and C are capable of occurring in other kinds of complex where the relation is not the same kind as R ; and (iv) that the characteristic properties of the whole $R(A, B, C)$ cannot, even in theory, be deduced from the most complete knowledge of the properties of A, B , and C in isolation or in other wholes which are not of the form $R(A, B, C)$. The *mechanistic theory* rejects the last clause of this assertion.⁸

Das oben stehende Diagramm (Abbildung 1), das ich leicht abgewandelt aus Boogerd u. a. (2003) entnehme, kontrastiert in einer schematischen Darstellung Broads Definition der synchronen Emergenz mit den drei explizit formulierten Bedingungen der Irreduzibilitätsthese.⁹

8 Broad, *The Mind and Its Place in Nature*, S. 61 (Hervorhebung und explizite Aufzählung A. S.).

9 Eine ausführlichere Analyse dieser Beziehungen findet sich in Boogerd u. a.,

2. Emergenz in der Philosophie des Geistes und in der Kognitionswissenschaft

Unter den reduktiv zu erklärenden Eigenschaften, Dispositionen und Verhaltensweisen nehmen mentale Eigenschaften eine Sonderstellung ein: Sie gelten als auffallend widerspenstig. Einige Autoren zweifeln gar daran, dass es jemals gelingen wird, bestimmte mentale Eigenschaften wie zum Beispiel das Haben phänomenaler Erlebnisse reduktiv zu erklären.¹⁰ Wer an einer reduktiven Erklärung mentaler Phänomene interessiert ist, der sollte daher im Prinzip *aller* zur Verfügung stellen, was überhaupt als Reduktionsbasis dienen kann, also: das vollständige physische System mit seinen Komponenten, deren Arrangement und Interaktionen sowie verhaltenrelevante Eigenschaften der Umwelt. Hierin liegt auch der Grund, weshalb in der Philosophie des Geistes der dritte (horizontale) Bedingung für Emergenz, die die Reduktionsbasis weiter einschränkt, keine Beachtung geschenkt wird. Aber selbst wenn wir alles über die neuronalen Korrelate bewusster psychischer Vorgänge wüsten, selbst wenn wir angeben könnten, wie sich jedes einzelne Neuron und jede einzelne Synapse verhält, scheint nicht ausgemacht zu sein, dass wir dann in der Lage wären, die mit diesen Vorgängen korrelierten mentalen Eigenschaften reduktiv zu erklären. Der Grund dafür sind nicht etwa mangelnde Einsichten der Neurowissenschaftler, sondern vielmehr, dass es nicht zu gelingen scheint (und zwar im Prinzip nicht), phänomenale Qualitäten begrifflich adäquat über ihre funktionale Rolle zu »präparieren«. Dies ist zumindest der Tenor von Levines Analyse:

What seems to be responsible for the explanatory gap, then, is the fact that our concepts of qualitative character do not represent, at least in terms of their psychological contents, causal roles. [...] Thus, to the extent that there is an element in our concept of qualitative character that is not captured by features of its causal role, to that extent it will escape the explanatory net of a physicalistic reduction.¹¹

Die Qualia-Debatte verdeutlicht, dass zumindest in der Philosophie

¹⁰ »Emergence«. Darin gehen wir auch auf einige detailreichere Überlegungen Broads ein, wie sie unter anderem in seinem zeitlich früheren Aufsatz »Mechanical Explanation and its Alternatives« zu finden sind.

¹¹ Vgl. Stephan, »Phänomenaler Resonanzismus« und »Phänomenale Eigenschaften«.

¹² Levine, »On Leaving Out«, S. 134.

des Geistes ein starker Begriff von Emergenz unverzichtbar ist. Er behält auch dann noch seine klassifikatorische Bedeutung für nicht-reduktiv physikalistische Positionen, wenn es gelingen sollte, die explanatorische Lücke teilweise zu schließen.¹² In der Kognitions-wissenschaft scheint ein starker (synchrone) Emergenzbegriff freilich ohne Anwendung zu sein. Wie ich bereits an anderem Ort zeigte,¹³ haben konnektionistische Netzwerke keine synchrone emergenten Eigenschaften, sie sind nicht in einem starken Sinne emergent. Alle interessanten Eigenschaften wie das Befolgen von Regeln, die Schemabildung und das Erkennen von Mustern sind Eigenschaften, die vollständig aus der Struktur des Netzes, den Eigenschaften seiner Einheiten (ihrer Aktivierungsfunktion) und den Eigenschaften ihrer Verbindungen (der Verteilung der Gewichte) abgeleitet werden können. Ebenso wenig haben *A-Life*-Kolonien und Roboter synchrone emergente Eigenschaften. Fähigkeiten wie das Einsammeln von Dosen, das Beginnen von Sprachspielen oder das Assistieren bei Operationen sind über ihre funktionale Rolle spezifiziert und vollständig reduktiv erklärbar. Das mitunter erstaunliche Makroverhalten von Kolonien künstlicher Lebewesen, das den Schwarmverhalten von Vögeln und Fischen oder dem Verhalten beim Bau von Termitennestern gleich, wird zum Teil durch ganz einfache Interaktionsmuster erzeugt. Für die von Craig Reynolds¹⁴ kreierten *boids* gelten drei Verhaltensregeln, auf die sich das gesamte Schwarmverhalten zurückführen lässt: (1) Vermeide Zusammenstöße, (2) gleiche deine Geschwindigkeit der der benachbarten *boids* an, und (3) bleibe in der Nähe der beobachtbaren *boids*. Von analoger Einfachheit sind die Regeln, die Mitchell Resnick¹⁵ zufolge genügen, um höchst komplexe Termitenbauten ent-

stehen zu lassen. Die systemischen Eigenschaften sind in diesen Fällen also gerade nicht unerklärbar. Verblüffend ist vielmehr, nach welch einfachen Regeln sie zu realisieren sind.

Für die Kognitionswissenschaft sind somit weder der schwache Emergenzismus noch der starke (synchrone) Emergenzismus besonders hilfreich, wenngleich aus entgegen gesetzten Gründen. Abgesehen vom gut begründeten Gebrauch des starken Emergenzbegriffs in der Philosophie des Geistes findet dieser in den anderen Bereichen der Kognitionswissenschaft keine weitere Verwendung. Obgleich auch der synchrone Emergenzismus die Natur an einem ihrer »Scharniere zu schneiden« scheint, könnten phänomenale Erlebnisse die einzigen Eigenschaften sein, die sich in diesem Sinne als stark emergent erweisen. Der synchrone Emergenzismus ist deshalb nur dann für die Kognitionswissenschaft von Bedeutung, wenn sie sich selbst mit phänomenalen Qualitäten befasst, also zum Beispiel mit der Frage auseinander setzt, ob auch künstliche Systeme eine Innen-Perspektive oder Empfindungen haben können. In allen anderen Fragen ist der starke Emergenzismus von keiner Relevanz für die Kognitionswissenschaft. Die übrigen von ihr studierten Phänomene sind nicht stark emergent. Und dies festzustellen ist noch nicht einmal sehr aufschlussreich. Denn es gibt nahezu keine systemische Eigenschaft, die stark emergent ist.

3. Keine Emergenz für *boids* und Roboter?

Sollten wir daraus nun schließen, dass es entgegen der Annahme vieler Vertreter der *A-Life*-Forschung und der Kognitionswissenschaft keine »Emergenz« für *boids* und Roboter gibt? Boden¹⁶ hatte den Begriff der Emergenz einmal zu den »Schlüsselbegriffen der *A-Life*-Forschung« gezählt. Und auch viele andere prominente Kognitionswissenschaftler wie Luc Steels, Peter Cariani oder David E. Rumelhart und James I. McClelland,¹⁷ um nur einige zu nennen, hatten dem Begriff der Emergenz einiges zugezählt. Aus der bisherigen Untersuchung lässt sich jedoch das Fazit ziehen, dass der Begriff

12 Durchaus Erfolg versprechend sind Überlegungen von Susan Hurley und Alva Noé (*Neural Plasticity and Consciousness*, S. 132), im Hinblick auf phänomenale Qualitäten die *intranmodale* Vergleichsstücke (Warum gibt eine bestimmte neuronale Aktivität Anlass zu einer *Rot*-Empfindung und nicht zu einer *Grün*-Empfindung?) und die *intranmodale* Vergleichsstücke (Warum gibt eine bestimmte neuronale Aktivität Anlass zu einer *visuellen* Empfindung und nicht zu einer *auditativen* Empfindung?) zu schließen. Zunächst unberührt bleibt davon allerdings die *absolute* explanatorische Lücke (Warum gibt eine bestimmte neuronale Aktivität überhaupt Anlass zu einer Empfindung?).

13 Stephan, *Emergenz*, Kapitel 17.

14 Vgl. Reynolds, »Flocks, Herds and Schools«.

15 Vgl. Resnick, *Turtles, Termites, and Traffic Jams*.

16 Vgl. Boden, »Introduction«.

17 Vgl. Steels, »Towards a Theory of Emergent Functionality« und »The Artificial Life Roots of Artificial Intelligence«; Cariani, »Emergence and Artificial Life« oder Rumelhart und McClelland, »PDP Models«.

der schwachen Emergenz zu schwach ist (es gibt zu viele systemische Eigenschaften) und dass der synchrone Emergenzbegriff zu stark ist (es gibt zu wenige synchrone emergente Eigenschaften), um für die Kognitionswissenschaft und die *A-Life*-Forschung relevant zu sein. Nun könnte man geneigt sein zu schließen, dass sich die »Emergenz-Freunde« unter den Kognitionswissenschaftlern gehörig getäuscht haben – hinsichtlich der Aussagekraft des Emergenzbegriffs in ihrer Disziplin. Zutreffender dürfte freilich die Annahme sein, dass die meisten von ihnen – wenn auch nicht explizit formuliert – einfach einen anderen Emergenzbegriff vor Augen hatten. Zu fragen ist dann, welcher Begriff von Emergenz in der Lage ist, die Welt der Artefakte wie die der Roboter und der *A-Life*-Kreaturen an aussagekräftigeren Stellen zu »schneiden«.

Einen guten Anknüpfungspunkt bietet hierfür Andy Clark, der in *Mindware* vier alternative Konzeptionen vorstellt und diskutiert, die seiner Ansicht nach in der einschlägigen Literatur zumindest implizit eine Rolle gespielt haben: (1) Emergenz als *kollektive Selbstorganisation*, (2) Emergenz als *nichtprogrammierte Funktionalität*, (3) Emergenz als *interaktive Komplexität* und (4) Emergenz als *nichtkomprimierbare Entwicklung*.¹⁸

Emergenz im Sinne *kollektiver Selbstorganisation* liege dann vor, wenn durch die Interaktionen sehr vieler gleichartiger Komponenten höchst bemerkenswerte Eigenschaften auf der Systemebene realisiert werden: zum Beispiel Schwarmbewegungen durch *birds* oder Termitenbauten durch andere *A-Life*-Kreaturen. Allgemein werden Phänomene dieser Art von der Synergetik (der »Lehre vom Zusammenwirken«) untersucht. Weitere bekannte Beispiele sind die Bildung von Mustern (Konvektionrollen) in einseitig erhitzten Flüssigkeiten, die Strukturbildung beim Schleimplatz oder das Auftreten des gegenüber dem Lampenlicht völlig neuartigen Laserlichts.¹⁹ In mathematischen Beschreibungen gelingt es häufig, die unüberschaubare Zahl von möglichen Variablen auf der Komponentenebene auf wenige »kollektive Variablen« (die so genannten Ordnungsparameter) zu reduzieren und dennoch zu adäquaten Beschreibungen der untersuchten Phänomene zu gelangen. Aus der epistemischen Möglichkeit, die zur Systembeschreibung relevante Information auf we-

nige Ordnungsparameter komprimieren zu können, haben einige Autoren weit reichende metaphysische Schlüsse gezogen und den Ordnungsparametern kausale Kräfte zugeschrieben. So behauptet Haken in seinen eher populärwissenschaftlichen Werken, dass die auf der Systemebene zu lokalisierenden Ordnungsparameter im Modus »zirkulärer Kausalität« die Systemkomponenten »versklaven«. Diese stark metaphorische, in der Sache aber irreführende Redeweise suggeriert, dass die Komponenten durch ihr Zusammenwirken Ordnungsparameter etablieren, die dann ihrerseits die Komponenten zu einem bestimmten Verhalten zwingen. Die Ordnungsparameter erwiesen sich damit als emergente Eigenschaften mit »abwärts wirkenden« kausalen Kräften. Aber diese Sichtweise ist falsch. Wie das Beispiel der *birds* zeigt, ist es weder der Schwarm als solcher noch einer seiner »Ordnungsparameter«, die einen einzelnen Vogel vorschreiben, wie er zu fliegen hat. Vielmehr sind die den Schwarm konstituierenden Vögel vom Flugverhalten ihrer jeweiligen Nachbarn wechselseitig abhängig. Genau dies belegen die einfachen Verhaltensregeln, mit deren Hilfe Reynolds Vogelwärme auf virtuelle Reisen schickte.

Welcher Begriff von Emergenz lässt sich dann aber aus diesen Beispielen extrahieren? Clarks Explikationsvorschlag ist eher ernüchternd:

An emergent phenomenon is thus any interesting behavior that arises as a direct result of multiple, self-organizing interactions occurring in a system of simple elements.²⁰

Auch wenn es verblüffen mag, Welch »interessante« Muster und Strukturen spontan und ohne intendiertes Design aus dem bloßen Zusammenwirken einer Vielzahl ähnlicher Komponenten von selbst entstehen können, hat der von Clark vorgeschlagene Emergenzbegriff keine theoretische Relevanz. Er bleibt ganz einer subjektiv-phänomenologischen Ebene verhaftet und hebt sich kaum von seinem umgangssprachlichen Gebrauch ab, wonach er so viel bedeutet wie »unerwartet auftauchen oder in Erscheinung treten«. Darüber hinaus hat er keine Anwendung bei Robotern und konnektionistischen Netzen, denn dort kommt es entscheidend auf deren Design beziehungsweise die in Trainingsphasen aufgetauten Strukturen an.

²⁰ Vgl. Clark, *Mindware*, S. 114.

¹⁸ Vgl. Clark, *Mindware*, S. 112-117.
¹⁹ Vgl. Haken, *Erfolgsgeheimnisse der Natur* sowie Stephan, *Emergenz*, S. 81.

Der zweite Vorschlag geht ursprünglich auf Steels²¹ zurück und expliziert Emergenz als *nichtprogrammierte Funktionalität*. Darunter ist zielgerichtetes adaptives Verhalten zu verstehen, das aus zumeist iterierten Interaktionen des Gesamtsystems mit seiner Umgebung entsteht und nicht allein das Ergebnis systeminterner Steuerungsprozesse oder expliziter Programmierung ist. Die im System repräsentierten Verhaltensoptionen referieren dabei nicht auf das *de facto* verfolgte Ziel (zum Beispiel das Einer-Wand-Folgen), sondern enthalten wesentlich einfachere Anweisungen (wie »bounce and veer« – bewege dich mit einem spezifischen Drall, erreichst du ein Hindernis, so drehst du dich unter einem bestimmten Winkel, der dem Drall entgegenwirkt, setze deine Bewegung mit dem ursprünglichen Drall fort usw.). Erreicht ein mit der *Bounce-and-veer*-Technik ausgestatteter Roboter eine Wand, so folgt er dieser. Sein spezifisches Verhalten (Geschwindigkeit, Kursabweichung) kann jedoch nur indirekt beeinflusst werden, da es nicht von zentralen oder expliziten Kontrollstrukturen abhängt – es basiert auf »unbeherrschten Variablen«. Dennoch muss es aus Sicht eines Ingenieurs weder unerwartet noch ungeplant sein. Es ist vielmehr ein einfaches Beispiel für *embedded and embedded cognition* – das adaptive Verhalten zeigt sich in einer geeigneten Umwelt, in der das System mit seinem Körper fortgesetzt interagiert. Wahrscheinlich ist es diese Beobachtung: Es ist das Realisieren eines zielgerichteten Verhaltens, das die intern repräsentierten Zielvorgaben transzendiert und nur aus dem Zusammenspiel des Systems mit seiner Umgebung entspringt, das dem Verhalten einen Anschein von *Emergenz* verleiht. In gleicher Weise dürfte auch das Verhalten von Insekten nichtprogrammierte Funktionalität besitzen. Dennoch ist es, wenn man die Mechanismen kennt, vollständig reduktiv erklärbar.

Ob das Merkmal der *nichtprogrammierten Funktionalität* zu einem theoretisch gehaltvollen Begriff führen kann, der zwischen schwächer und starker Emergenz anzusiedeln wäre, muss sich freilich erst noch zeigen. Ich habe allerdings Bedenken. Einerseits dürfte es schwer werden, einen solchen Emergenzbegriff bei nichtmenschlichen Organismen adäquat anzuwenden, denn es bedürfte jeweils eines Vergleiches der im System repräsentierten Ziele und Strategien

²¹ Vgl. Steels, »Towards a Theory of Emergent Functionality« und »Artificial Life Roots of Artificial Intelligence«.

mit den in einer passenden Welt *de facto* erreichten. Andererseits scheinen unzählige menschliche Verhaltensweisen in diesem Sinne emergent zu sein. Die im Zuge emotionaler Reaktionen ablaufenden Körperveränderungen, um nur ein Beispiel zu nehmen, haben offenbar interne und externe Signalfunktionen, die als solche jedoch nicht in den zugrunde liegenden neuronalen und neurochemischen Mechanismen repräsentiert werden: Es bedarf des Anderen, der unsere Mimik und Gestik zu lesen versteht, damit er das Signalisierte versteht. Sind deshalb emotional kommunizierte Botenchaften emergent?

Clark selbst scheint Emergenz eher als *interaktive Komplexität* konzipieren zu wollen. Nach dieser Idee sind diejenigen systemischen Eigenschaften, Muster und Verhaltensweisen als emergent auszuzeichnen, die durch komplexe, zumeist zyklische Interaktionen der Systemkomponenten instantiiert werden. Die Beachtung der *Komplexität* der Interaktionen erlaube zudem einen graduellen Emergenzbegriff. Danach ist Verhalten, das aus einer Abfolge linearer Interaktionen resultiert wie der *Bounce-and-veer*-Technik das einer Wand folgenden Roboters, nur *schwach* emergent. Phänomene, die auf multiplen nichtlinearen und zeitlich asynchronen Interaktionen mit positivem Feedback beruhen wie Konvektionsrollen bei einseitig erhitzten Flüssigkeiten, seien dagegen *stark* emergent.²² Ohne Frage ist es ein lohnendes Ziel, einen graduellen Emergenzbegriff zu entwickeln, der die Komplexität von Strukturen und Interaktionen abbildet. Clarks Vorschlag hat jedoch die unplausible Konsequenz, dass ausgerechneter Konvektionsrollen und Schwarmbewegungen, die sich auf sehr einfache Interaktionsregeln zurückführen lassen, stark emergent wären. Komplex sind in diesen Fällen nicht die Strukturen oder das Verhalten der zu untersuchenden Systeme, sondern die mathematischen Beschreibungen, die nötig wären, das Systemverhalten auf der Ebene unzähliger vieler einfacher Komponenten zu erfassen. Meines Erachtens ist es nicht sinnvoll, hier überhaupt von Emergenz in einem anderen als in dem von mir als *schwach* bezeichneten Sinne zu sprechen.

²² Vgl. Clark, *Mindware*, S. 115 f. Die von Clark als schwach beziehungsweise stark emergent ausgerechneten Phänomene sind gemäß der von mir eingeführten Terminologie nur als *schwach* emergent anzusehen. Da sie im Prinzip reduktiv erklärbar werden können, sind sie nicht *stark* emergent.

Der vierte, von Clark nach eigener Auskunft nur der Vollständigkeit halber vorgestellte Vorschlag thematisiert Emergenz als *nicht-komprimierbare Entwicklung*. Diese Idee stammt von Mark Bedau, der die folgende Definition vor allem an *Game-of-Life*-Konfigurationen illustriert hatte:²³

Macrostate P of S with microdynamic D is *weakly emergent* if P can be derived from D and S 's external conditions but only by simulation.²⁴

Als »schwach emergent« werden damit diejenigen systemischen Zustände P eines Systems S ausgezeichnet, die nur durch eine Simulation aller auf der Komponentenebene stattfindenden Interaktionen sowie der äußeren Einflüsse auf S abgeleitet werden können. Nach Clarks Ansicht ist dieser Vorschlag zu restriktiv,²⁵ da er die von ihm selbst als *stark emergent* charakterisierten Phänomene (Schwarmbewegungen, Konvektionsrollen) noch nicht einmal als *schwach emergent* auszeichnen würde. In diesen Fällen ist es nämlich möglich, die interessierenden systemischen Zustände durch eine geeignete Wahl der Ordnungsparameter adäquat zu beschreiben. Eine vollständige Simulation der ihnen zugrunde liegenden Mikrodynamik ist nicht nötig. Da ich, wie gerade ausgeführt, selbst Bedenken gegenüber dem von Clark favorisierten Begriff der (starken) Emergenz habe, halte ich die deflationären Konsequenzen, die sich aus Bedaus Begriffsanalyse für die von Clark für *stark emergent* gehaltenen Phänomene ergeben, eher für begriffenswert.

Bedau charakterisiert den von ihm explizierten Begriff als »schwach« emergent, um ihn von den starken Varianten abzugrenzen, die in der Philosophie des Geistes Verwendung finden. Explizit bezieht er sich dabei auf Timothy O'Connor, der systemische Eigenschaften als *stark emergent* definiert, wenn sie über irreduzible und abwärts gerichtete kausale Kräfte verfügen.²⁶ Mein eigener Vorschlag bezieht *stark* Emergenz zwar über das Merkmal der Irreduzibilität und nicht über abwärts gerichtete Kausalität; da die von Bedau diskutierten Eigenschaften jedoch reduktiv erklärt werden können,

²³ Das *Game of Life* ist ein von dem Mathematiker Conway erfandener zweidimensionaler zellulärer Automat, in dem sich mit einfachen Regeln komplexe Strukturen und Mechanismen definieren lassen, die interessante Ähnlichkeiten zu biologischen Systemen aufweisen.

²⁴ Vgl. Bedau, »Weak Emergence«, S. 378.

²⁵ Vgl. Clark, *Mindware*, S. 116.

²⁶ Vgl. O'Connor, »Emergent Properties«, S. 97.

sind sie auch in dem von mir definierten Sinne nicht *stark* emergent. Gleichwohl ist der von Bedau vorgeschlagene Begriff der *schwachen* Emergenz anspruchsvoller als der, den ich allen weiteren Spielarten des Emergenzismus zugrunde gelegt habe. Denn sehr viele systemische Eigenschaften, die nach meinem Vorschlag schwach emergent sind, können auch ohne Simulation der Mikrodynamik reduktiv erklärt werden und sind damit nach Bedau noch nicht einmal schwach emergent.

Bedaus schwache Emergenztheorie hat große Gemeinsamkeiten mit einer Theorie der Emergenz, die ich an anderer Stelle durch die *These der Struktur-Unvorhersagbarkeit* charakterisiert und als *dichronen Struktur-Emergenzismus* bezeichnet habe.²⁷ Diese Variante der Unvorhersagbarkeit hat zwar in der klassischen emergenztheoretischen Literatur keine Rolle gespielt, gewinnt jedoch gerade durch die in der Robotik und der *A-Life*-Forschung untersuchten Phänomene zunehmend an Bedeutung:

Struktur-Unvorhersagbarkeit: Das Entstehen neuartiger Strukturen ist prinzipiell unvorhersagbar (und damit emergent), wenn die Bildung der Strukturen den Gesetzen des deterministischen Chaos folgt. Ebenso wenig sind die Eigenschaften vorhersagbar, die durch die neuen Strukturen instantiiert werden.

Da es aus theoretischer Perspektive wenig interessant wäre, wenn die Bildung einer neuen Struktur nur deshalb als unvorhersagbar gelten müsste, weil ihr Entstehen indeterminiert wäre, haben sich Emergenzisten gefragt, ob auch determiniert ablaufende Strukturbildungen *prinzipiell unvorhersagbar* sein können. Sie sind es dann, wenn sie nach Gesetzen verlaufen, die dem deterministischen Chaos zuzurechnen sind. Ein wesentlicher Befund der Chaostheorie ist nämlich, dass es (sogar sehr einfache) mathematische Funktionen gibt, deren iteriertes Verhalten nicht vorhergesagt werden kann. Erst das Aufkommen »experimenteller Computer-Mathematik« hat zum Beispiel die Eigenschaften von verschiedenen logistischen Funktionen preisgegeben. Deren intramathematische Unvorhersagbarkeit hängt mit dem minimal verschiebten Verhalten dieser Funktionen zusammen, bei dem minimal verschiedene Startwerte zu radikal verschiedenen Funktionsverläufen führen können. Entsprechend gilt, dass Systeme, deren Entwicklung den Gesetzen des deterministi-

²⁷ Vgl. Stephan, *Emergenz*, S. 3.6 und 18.3.

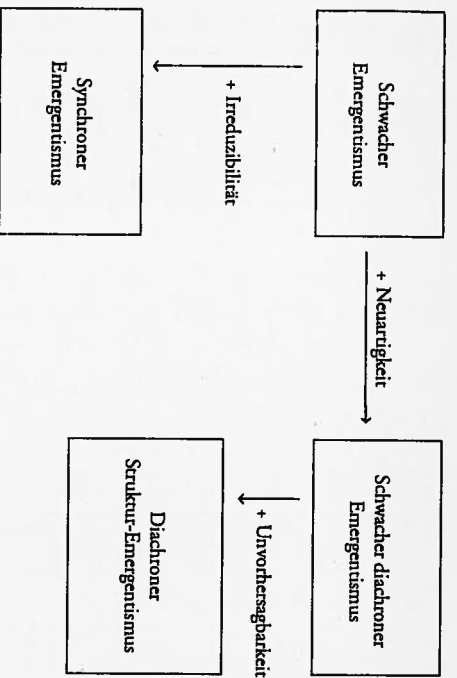


Abb. 2

schon Chaos folgt, prinzipiell unvorhersagbare Strukturen ausbilden und damit emergentes Verhalten zeigen können. Und hier treffen sich Bedaus begriffliche Vorstellungen mit meinen: Will man Phänomene beschreiben und vorhersagen, die den Gesetzen des deterministischen Chaos folgen, so sind vollständige Simulationen der mathematischen Funktionen auf der Komponentenebene gefördert; es stehen keine abkürzenden Informationskomprimierungen durch Ordnungsparameter zur Verfügung. Bedau hat die Fruchtbarkeit seines Ansatzes für die *A-Life*-Forschung am *Game of Life* vorgeführt. In der Kognitionswissenschaft könnte die *Theorie der Struktur-Unvorhersagbarkeit* besonders bei der Charakterisierung *evolutionärer Architekturen* Anwendung finden – denn diese entwerfen sich häufig in einer Art und Weise, die prinzipiell unvorhersagbar ist.

Mit dem Begriff der Emergenz als *Struktur-Unvorhersagbarkeit* liegt folglich eine echte Alternative vor, die zwischen *schwacher* und *starker* Emergenz anzusiedeln ist und die *Welt der Artefakte* in der Kognitionswissenschaft an interessanten Scharnieren »schneidet«. Der *diachrone Struktur-Emergentismus* ist zwar eine anspruchsvolle Form des Emergentismus, aber durchaus noch mit reduktiven Erklärungen vereinbar: Sollten sich evolutionäre Architekturen ausbil-

den, die vor ihrer tatsächlichen Entwicklung unvorhersehbar waren, so ist nicht ausgeschlossen, dass sich ihre Eigenschaften und Verhaltensweisen aus der Struktur des Systems reduktiv erklären lassen.

Abbildung 2 stellt zusammenfassend die logischen Beziehungen dar, die zwischen den von mir vorgeschlagenen Spielarten des Emergentismus bestehen.

Der *schwache diachrone* Emergentismus entsteht aus dem *schwachen* Emergentismus durch Hinzufügen der Neuartigkeitstese. Beide Versionen sind mit dem reduktiven Physikalismus kompatibel und wenig aussagekräftig. Der (starke) *synchrone* Emergentismus geht aus dem schwachen Emergentismus durch Hinzufügen der Irreduzibilitätstese hervor; er wird vor allem in der Philosophie des Geistes benötigt. Der *Struktur-Emergentismus* entsteht aus dem *schwachen diachronen* Emergentismus durch Hinzufügen der These der Struktur-Unvorhersagbarkeit. Er ist vereinbar mit reduktiv physikalistischen Positionen und insofern schwächer als der *synchrone* Emergentismus, könnte aber einen breiten Anwendungsbereich in der Kognitionswissenschaft und *A-Life*-Forschung haben.

Literatur

- Bedau, Mark A., »Weak Emergence«, in: *Philosophical Perspectives* 11, 1997, S. 375-399.
- Boden, Margaret, »Introductions«, in: *The Philosophy of Artificial Life*, hg. v. Margaret Boden, Oxford 1996, S. 1-35.
- Boogerd, Fred C., u. a., »Emergence and its Place in Nature: A Case Study of Biochemical Networks«, in: *Synthese* 145, 2005, S. 131-164.
- Broad, Charles D., »Mechanical Explanation and its Alternatives«, in: *Proceedings of the Aristotelian Society* 19, 1919, S. 86-124.
- , *The Mind and Its Place in Nature*, London 1925.
- Catani, Peter, »Emergence and Artificial Life«, in: *Artificial Life II*, hg. v. Christopher G. Langton u. a., Reading, Mass. 1991, S. 775-797.
- Clark, Andy, *Mindware. An Introduction to the Philosophy of Cognitive Science*, Oxford 2001.
- Haken, Hermann, *Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken*, Frankfurt am Main 1988.
- Hunley, Susan, und Alva Noë, »Neural Plasticity and Consciousness«, in: *Biology and Philosophy* 18, 2003, S. 131-168.

- Kim, Jaegwon, *Mind in a Physical World*, Cambridge, Mass. 1998.
- , »Emergenz, Reduktionsmodelle und das Mentale«, in: *Phänomenales Bewusstsein – Rückkehr zur Identitätstheorie?*, hg. v. Michael Pauen und Achim Stephan, Paderborn 2002, S. 148-164.
- Levine, Joseph, »On Leaving Out What It's Like«, in: *Consciousness*, hg. v. Martin Davies und Glyn W. Humphreys, Oxford 1993, S. 121-136.
- McLaughlin, Brian, »The Rise and Fall of British Emergentism«, in: *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, hg. v. Ansgar Beckermann, Hans Flohr und Jaegwon Kim, Berlin 1992, S. 49-93.
- O'Connor, Timothy, »Emergent Properties«, in: *American Philosophical Quarterly* 31, 1994, S. 91-104.
- Resnick, Mitchell, *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*, Cambridge, Mass. 1994.
- Reynolds, Craig, »Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model«, in: *Computer Graphics* 21, 1987, S. 25-34.
- Rumelhart, David E., und James L. McClelland, »PDP Models and General Issues in Cognitive Science«, in: *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Bd. 1, hg. v. David E. Rumelhart und James L. McClelland, Cambridge, Mass. 1986, S. 110-146.
- Steels, Luc, »Towards A Theory of Emergent Functionality«, in: *From Animals to Animats. Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, hg. v. Jean-Arcady Meyer u. a., Cambridge, Mass. 1991, S. 451-461.
- , »The Artificial Life Roots of Artificial Intelligence«, in: *Artificial Life* 1, 1994, S. 75-110.
- Stephan, Achim, *Emergenz. Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation*, Dresden 1999 (2. Auflage: Paderborn 2005).
- , »Phänomenaler Pessimismus«, in: *Phänomenales Bewusstsein – Rückkehr zur Identitätstheorie?*, hg. v. Michael Pauen und Achim Stephan, Paderborn 2002, S. 342-363.
- , »Phänomenale Eigenschaften, phänomenale Begriffe und die Grenzen reduktiver Erklärung«, in: *Grenzen und Grenzüberschreitungen. XIX. Deutscher Kongress für Philosophie. Vorträge und Kolloquien*, hg. v. Wolftram Hoegbe in Verbindung mit Joachim Bromand, Berlin 2004, S. 404-416.

Ralph Schumacher

Die prinzipielle Unterbestimmtheit der Hirnforschung im Hinblick auf die Gestaltung schulischen Lernens

1. Einleitung

Keine empirische Wissenschaft, die neue Bereiche der Wirklichkeit erschließt, kommt ohne die philosophische Reflexion ihrer Grundlagen aus. Auf Philosophie zu verzichten bedeutet in diesem Fall, die Grundlagen der betreffenden Disziplin ungeprüft voraussetzen. Dies mag in einigen begrenzten Bereichen keinen großen Schaden anrichten. Aber insgesamt betrachtet schränkt es die wissenschaftliche Vorstellungskraft erheblich ein, wenn sich das Denken im Rahmen überkommener philosophischer Voraussetzungen bewegt. In diesem Aufsatz soll am Beispiel der Beziehung der empirischen Hirnforschung zur psychologischen und pädagogischen Lehr-Lern-Forschung gezeigt werden, dass die kritische Reflexion ontologischer und wissenschaftstheoretischer Grundlagen der Hirnforschung erforderlich ist, um die Bedeutung neurophysiologischer Einsichten für die Debatte um die Verbesserung des Schulunterrichts richtig einschätzen zu können.

Unter dem Oberbegriff »das psychophysische Problem« werden eine ganze Reihe miteinander verwandter Fragestellungen verstanden, zu denen vor allem die Folgenden zählen:

- (1) Gehören geistige und physikalische beziehungsweise neurophysiologische Zustände zu grundsätzlich verschiedenen ontologischen Kategorien?
- (2) Wie lässt sich die Interaktion zwischen geistigen und physikalischen beziehungsweise neurophysiologischen Zuständen erklären?
- (3) Lassen sich geistigen Zuständen kausale Eigenschaften zuschreiben, ohne sie damit auf physikalische oder neurophysiologische Zustände zu reduzieren?
- (4) Können wir die Intentionalität geistiger Zustände im Rahmen einer naturalistischen Theorie des Geistes erklären?