

Die Wirklichkeit emergenter Eigenschaften

MICHAEL HEIDELBERGER

Der Begriff der Emergenz hat etwas von einem faulen Zauber an sich, hinter dem sich die eigene Unwissenheit der natürlichen Ursachen eines Phänomens verstecken lässt. Lange Zeit begegnete man ihm deshalb mit großem Misstrauen, das bis heute noch nicht abgeklungen ist. Der Emergenzbegriff schien sich von der Kritik und Trivialisierung, die er besonders von Seiten des logischen Empirismus erfuhr, nicht mehr erholen zu können. Die Annahme emergenter, also holistischer, systemischer Eigenschaften ist mit dem eigenartigen, vielleicht sogar üblen Beigeschmack längst vergangener und verstaubter Diskussionen behaftet, als noch aufrechte Kämpfer den Vitalismus vor dem Mechanismus zu retten suchten.

Seit ungefähr zehn bis fünfzehn Jahren hat jedoch die Idee der Emergenz eine kleine Renaissance erfahren und scheint in der Wissenschaftstheorie allmählich wieder hoffähig zu werden. (Siehe Bunge 1977, Popper/Eccles 1977, Sperry 1980, Smart 1981, Stöckler 1990, Stephan 1990, Beckermann 1992, Hoyningen-Huene, im Druck.) Ein Grund dafür liegt in der gegenwärtig recht stürmischen Debatte des psychophysischen Problems, in der fast jedes Mittel recht zu sein scheint, das vertrackte Verhältnis zwischen Leib und Geist zu erfassen. Neben vielen neuen, ausgefeilten Vorschlägen werden dabei verstärkt auch wieder ältere Ideen aufgegriffen und umgearbeitet. Ein anderer Grund ist darin zu sehen, dass zurzeit Positionen beliebt sind, die quer zu den alten Fronten liegen: Ein platter, alles auf Physik reduzierender Materialismus soll vermieden werden, aber gleichzeitig sollen Physikalismus und Naturalismus erhalten bleiben. Die Autonomie „höherer“, komplexer Wissenschaften wie Biologie und Psychologie wird gegenüber der Physik eingefordert, ohne dass die grundlegende Ontologie mehr als materielle Bestandteile und ihre Eigenschaften beinhalten soll. Der mit diesen Versuchen hervortretende Trend zum nichtreduktiven Materialismus legte es nahe, sich wieder an den Emergenzbegriff zu erinnern. Zumindest in seiner ursprünglichen Form verstand sich der Emergentismus als durch und durch naturalistische und physikalistische Position, die gleichwohl von der Möglichkeit und Wirklichkeit nichtreduzierbarer Eigenschaften ausging.

Im folgenden möchte ich zur Renaissance des Emergenzbegriffs beitragen, indem ich versuche, (1) ein Hauptargument des logischen Empirismus, mit dem er sich die Emergenz gefügig zu machen versuchte, zu entkräften und (2) eine allgemeine Überlegung zu entwickeln, die zeigt, dass emergente Eigenschaften prinzipiell möglich sind und dass es in unserer Welt mit hoher Wahrscheinlichkeit emergente Eigenschaften gibt.

1. Die Kritik des logischen Empirismus an der Emergenz

Der Begriff der Emergenz bezieht sich auf Eigenschaften von komplexen Systemen. In der ursprünglichen Diskussion wurden zwei grundverschiedene mögliche Klassen von Eigenschaften von materiellen Systemen unterschieden: Eigenschaften, die sich aus den Eigenschaften der Bestandteile eines Systems und davon, wie es zusammengesetzt ist, ergeben (resultante, additive oder mikrodeterminierte Eigenschaften) und solche Eigenschaften, die die Eigenschaften der Bestandteile irgendwie übersteigen und über sie hinausgehen (emergente Eigenschaften).

Im Bestreben, diese intuitive Charakterisierung genauer zu fassen, wurden im Laufe der Zeit eine ganze Reihe von Definitionen vorgeschlagen, die auf denselben Grundgedanken hinauslaufen: Eine Eigenschaft eines komplexen Systems ist emergent, wenn sie in Bezug auf die Eigenschaften der Bestandteile neuartig, oder nicht ableitbar, nicht vorhersagbar, nicht

reduzierbar, nicht explizit definierbar ... ist. (Siehe Stephan 1992 für einen Überblick über die verschiedenen vorgeschlagenen Varianten.) Entsprechend dazu heißt dann eine Eigenschaft resultant oder additiv, wenn sie nicht emergent ist. Manchmal spricht man auch von einem emergenten *System*. Dies wäre zu definieren als ein System mit mindestens einer emergenten Eigenschaft. Auch von Gesetzen oder Kräften wird bisweilen gesagt, dass sie emergent sein können.

Zur Illustration der Definition wurden und werden fast ausschließlich Eigenschaften von chemischen Verbindungen herangezogen: Dass Wasser flüssig und transparent ist, ist nicht ableitbar, nicht vorhersagbar, nicht explizit definierbar ... allein aus den Beschreibungen der Eigenschaften von Wasserstoff- und Sauerstoffmolekülen und der Art und Weise, wie sie zusammengesetzt sind. Wohl aber können wir das Gewicht eines Wasservolumens aus dem Gewicht seiner Bestandteile, die man zusammen gegossen hat, ableiten; Gewicht ist also eine resultante Eigenschaft.

(Um Trivialisierungen zu vermeiden, muss man die Definition von Emergenz auf solche Eigenschaften eines Systems einschränken, die nicht einfach nur Relationen zwischen den Bestandteilen und etwas anderem sind. Sonst hätte kein System emergente Eigenschaften. Man könnte nämlich z.B. sagen: Dass Wasser flüssig ist, ergibt sich aus der Eigenschaft des Wasserstoffs, bei so und so gearteter Zusammensetzung mit Sauerstoff eine Flüssigkeit zu bilden, siehe Hempel/Oppenheim 1948, 260).

An den verschiedenen Varianten der Standardauffassung von Emergenz haben Hempel und Oppenheim eine (mittlerweile klassisch zu nennende) Kritik geübt, die auch heute noch häufig ins Feld geführt wird (Hempel/Oppenheim 1948, 258-264; später übernommen von Nagel 1961, Kapitel 11; heute noch vertreten z.B. von Lambert/Brittan 1991, 250 f.). Sie lässt sich in drei Schritten darstellen:

1. Wenn eine Eigenschaft eines Systems aus den (nichtrelationalen) Eigenschaften seiner Teile ableitbar (oder neuartig oder definierbar usw.) sein soll, dann kann das immer nur Ableitbarkeit ... in Bezug auf eine *Theorie* sein, die mit der Annahme empirischer Gesetze einen Zusammenhang zwischen den Eigenschaften des Ganzen und den Eigenschaften der Bestandteile behauptet. Ohne eine solche Theorie ließen sich trivialerweise selbst additive Eigenschaften eines Systems nicht aus den Eigenschaften der Komponenten ableiten. Die Konklusion einer (deduktiven) Ableitung kann nicht mehr Informationsgehalt enthalten als in den Prämissen gegeben ist. Man muss also eine Theorie als Prämisse einführen, um überhaupt Ableitbarkeit zu ermöglichen.
2. Wenn aber die Ableitbarkeit ... einer Eigenschaft aus anderen Eigenschaften eine Theorie voraussetzt, dann kann die Emergenz einer Eigenschaft immer nur in Bezug auf eine Theorie behauptet werden. Wir können also höchstens den Begriff der „Emergenz relativ zu einer Theorie“ bilden. Wenn wir eine Eigenschaft als emergent bezeichnen, meinen wir damit, dass ihr Auftreten nicht aus den Eigenschaften der Bestandteile *und der in Frage stehenden Theorie* ableitbar ist.
3. Hängt aber die Emergenz einer Eigenschaft von einer Theorie ab, so ist sie

kein ontologisches Merkmal, das gewissen Phänomenen zukommt, sondern sie bringt das Ausmaß unseres Wissens zu einer bestimmten Zeit zum Ausdruck; sie ist daher nicht absolut, sondern nur relativ; und was in Bezug zu heutigen Theorien emergent ist, kann morgen seinen emergenten Status wieder verlieren (Hempel/Oppenheim 1948, 263; ähnlich Nagel 1961, 369).

Mit dieser Relativierung ist der Emergenz ihr Biss genommen, und sie wird zu einer uninteressanten und theoretisch sterilen Eigenschaft. Von einem System zu behaupten, es sei emergent, drückt jetzt nunmehr den Vorbehalt aus, dass bisher

noch keine Theorie bekannt ist, die eine Ableitung aus den Eigenschaften der Komponenten gestattet. Will man also dem Emergenzbegriff zu neuer Brisanz verhelfen, muss man ihn unabhängig von den jeweils kontingenten Beschränkungen des naturwissenschaftlichen Wissens definieren und ihm zu einer ontischen Interpretation verhelfen.

2. Vom epistemischen zum ontischen Begriff der Erklärung

Wenn wir die verschiedenen Varianten der Standarddefinition von Emergenz betrachten, zeigt es sich, dass sie in einer bestimmten entscheidenden Hinsicht der bekannten Konzeption von Erklärung gleichen, die ebenfalls auf Hempel und Oppenheim zurückgeht. Nach diesem so genannten „covering law“-Modell der wissenschaftlichen Erklärung (Modell der umfassenden Gesetze) ist ein Phänomen erklärt, wenn gezeigt ist, dass sein Auftreten im Lichte eines bestimmten Wissens über Gesetze und Randbedingungen „zu erwarten war“ (Hempel 1965, 337). Mit der Auffassung von Hempel und Oppenheim wird also die „gesetzmäßige Erwartbarkeit“ (Salmon 1984, 16, 84) von Phänomenen zum grundlegenden Merkmal, das ein Explanans in Bezug auf das Explanandum erzeugen muss, um eine wissenschaftliche Erklärung zu sein. Eine Erklärung erreicht ihren Zweck, wenn sie ein Wissen über Tatsachen liefert, aufgrund dessen das zu erklärende Phänomen erwartbar ist.

Mit diesem Bezug auf die Erwartung von Personen zeigt sich das Hempel-Oppenheim-Modell als eine zutiefst *epistemische* Konzeption: Eine Erklärung ist eine Beziehung zwischen einem Phänomen und einem psychischen Zustand von Personen. Um der Erwartbarkeit einen objektiven Anstrich zu geben, wird sie im Hempel-Oppenheim-Modell zu *rationaler* Erwartbarkeit, von der angenommen wird, dass sie sich in der logischen Ableitbarkeit manifestiert: Ein Ereignis ist genau dann im Lichte einer Theorie rational erwartbar, wenn sie aus ihr ableitbar ist. Dieser Kunstgriff ändert aber nichts an dem zutiefst epistemischen Charakter des Hempel-Oppenheim-Schemas.

Ich möchte nun behaupten, dass für Hempel und Oppenheim die gesetzmäßige Erwartbarkeit in der Emergenz dieselbe Rolle wie in einer wissenschaftlichen Erklärung spielt. Demnach ist eine Eigenschaft eines Systems emergent, wenn wir sie aufgrund unseres Wissens über die Systemkomponenten und der für sie gültigen Gesetze nicht (rational) erwarten können. Emergenz ist also für Hempel und Oppenheim ebenfalls ein Begriff, der einen Bezug auf den psychischen Zustand von Personen beinhaltet. Die Emergenz in diesem Sinne epistemisch aufzufassen, war für Hempel und Oppenheim um so nahe liegender, als schon die englischen „emergenten Evolutionisten“ der zwanziger Jahre stark zu einer epistemischen Interpretation neigten. (Zum emergenten Evolutionismus vgl. Stephan 1990, 1992; Stöckler 1990, 11-13.)

In der letzten Zeit ist die Angemessenheit des Hempel-Oppenheim-Modells der Erklärung stark in Zweifel gezogen worden. (Zum Stand der Diskussion vgl. zusammenfassend Schurz 1988.) Die Hinweise dafür mehren sich, dass die epistemische Auffassung der Erklärung am Kern der Sache vorbeigeht. Zwar ist es richtig, dass eine erfolgreiche Erklärung auch die Erwartbarkeit eines Phänomens aufzeigt, aber Erwartbarkeit kann nicht schon deswegen eine hinreichende Bedingung für eine wissenschaftliche Erklärung sein. Wir verwerfen eine überholte wissenschaftliche Erklärung ja nicht deswegen, weil sie keine Erwartbarkeit mehr im Lichte der herangezogenen Theorie erzeugen kann, sondern weil sie einen Zusammenhang zwischen gewissen Tatsachen und dem zu erklärenden Phänomen herstellt, der nach unserer aktuellen Überzeugung aus guten Gründen in Wirklichkeit nicht besteht. (Siehe Salmon 1984, 15 ff., 84 ff. für eine Darstellung dieser Kritik.) Nicht der Bezug einer Tatsache auf den Zustand der Erwartung von Personen macht eine Erklärung aus, sondern ihr Bezug auf andere

subjektunabhängige Fakten. Statt epistemisch muss die wissenschaftliche Erklärung als *ontisch* aufgefasst werden.

Welches ist nun der Zusammenhang, den wir mit einer (ontisch verstandenen) Erklärung zwischen Explanans und Explanandum behaupten? Wir behaupten einen *kausalen* Zusammenhang. Erklären heißt zeigen, dass das zu erklärende Phänomen mit dem erklärenden kausal verbunden ist. Eine Erklärung ist nicht, wie in der epistemischen Auffassung, relativ zu einem kontingenten Wissensstand, sondern relativ zu einem kausalen Mechanismus. Eine Erklärung zielt auf die kausale Herkunft des Explanandums ab, den kausalen Mechanismus, der zu ihm führte und nicht auf seine gesetzmäßige Erwartbarkeit.

Die Unterscheidung zwischen der epistemischen und der ontischen Konzeption der Erklärung ist keine bloß philosophische Haarspalterei. Betrachten wir z.B. das Boyle-Mariottesche Gesetz, das eine funktionale Abhängigkeit zwischen Druck, Volumen und Temperatur eines Gases behauptet, ohne etwas über kausale Abhängigkeiten zu sagen. Nach der epistemischen Konzeption wäre jede Ableitung eines Ereignisses aus diesem Gesetz (zusammen mit geeigneten Randbedingungen) eine wissenschaftliche Erklärung. Die abgeleitete Tatsache ist im Lichte des Gesetzes und der Randbedingungen zu erwarten. Die ontische Konzeption wäre damit noch nicht zufrieden, sondern würde für eine angemessene Erklärung einen Bezug auf den zugrunde liegenden kausalen Prozess fordern. Um den Druckanstieg eines Gases (im ontischen Sinne) zu erklären, genügt es nicht, auf die Verkleinerung seines Volumens bei konstanter Temperatur hinzuweisen; erst der Bezug auf eine bestimmte Ursache, die zu einem veränderten Verhalten der Gasmoleküle führte, macht eine wirkliche Erklärung daraus. Für den Vertreter der ontischen Auffassung liefert die Anwendung des Boyle-Mariotteschen Gesetzes nur einen Teil einer Erklärung. Sie muss um einen kausalen Gehalt vervollständigt werden, um wirklich erklären zu können.

Aus diesem Beispiel wird ersichtlich, dass die ursprüngliche Intuition, die zum epistemischen Verständnis der Erklärung führte, auch in der ontischen Interpretation erhalten bleibt. Ist ein Ereignis im ontischen Sinne erklärt, so folgt daraus, dass es aufgrund der Information über den zugrunde liegenden kausalen Mechanismus zu erwarten war. Es ist also auch im epistemischen Sinne erklärt. Aber umgekehrt gilt nicht, dass jede Information, die ein Ereignis erwarten lässt, es auch im ontischen Sinne erklärt.

Es ist kein Einwand gegen die ontische Fassung der Erklärung, auf unsere prinzipielle Beschränktheit als endliche epistemische Subjekte hinzuweisen und zu sagen, man könne nur epistemisch und nie wirklich ontisch erklären, da man sich nie des wirklichen kausalen Prozesses sicher sein könne. Auch der Begriff des Naturgesetzes wird nicht dadurch zu einem epistemischen Begriff, dass unsere Überzeugung, ein Naturgesetz gefunden zu haben, immer von unserem beschränkten Wissen zu einer bestimmten Zeit abhängt und daher grundsätzlich revidierbar ist.

3. Ein Beispiel für Emergenz

Wenn sich der Schritt von der epistemisch zur ontisch verstandenen Erklärung analog auch bei der Emergenz machen ließe, dann könnte der Emergenzbegriff seine alte Brisanz wiedergewinnen. Bevor wir jedoch die Kritik an der epistemischen Deutung der Erklärung und ihre ontische Neufassung auf die der Emergenz zu übertragen versuchen, ist es sinnvoll, sich ein naturwissenschaftliches Beispiel genauer anzusehen. Besonders geeignet scheint hierfür eine elektrodynamische Theorie des 19. Jahrhunderts zu sein, die, ohne die Bezeichnung zu gebrauchen, von der Existenz emergenter Eigenschaften im ontischen Sinne ausging. Die Probleme, die diese Theorie aufwarf, trugen zum Niedergang der mechanischen Weltanschauung bei und bereiteten indirekt den Boden für den Aufstieg der Feldtheorie.

Im Jahre 1846 schlug der Physiker Wilhelm Weber (1804 – 1891) ein elektrodynamisches Grundgesetz vor, nach dem die Kraft zwischen zwei elektrischen „Massen“ (wir würden heute von „Ladungen“ sprechen) nicht nur vom umgekehrten Quadrat ihrer Entfernung voneinander abhängt, sondern auch von ihrer relativen Geschwindigkeit und relativen Beschleunigung. (Weber 1846; vgl. Rosenberger 1887, Wiederkehr 1960, Wise 1981, 1990, Archibald 1989.) Mit diesem Gesetz gelang es Weber, die Gesetzmäßigkeiten der drei wichtigsten, damals bekannten Phänomenbereiche der Elektrizität zusammenzufassen: elektrostatische Kräfte zwischen elektrischen Massen (Coulomb), elektromagnetische Kräfte zwischen Leitern und Magneten (Ampère) und die elektromagnetische Induktion (Faraday).

Wenn man mit der Newtonschen und Laplaceschen Weltsicht davon ausgeht, dass zwischen Massen nur anziehende und abstoßende Kräfte wirken können, dann ist das Webersche Gesetz gleichbedeutend mit der Annahme, dass die Kraft zwischen zwei elektrischen Partikeln nicht nur von den Eigenschaften der beiden Partikel und ihrer räumlichen Beziehung, sondern auch von der Gegenwart weiterer Massen beeinflusst wird. Die Gesamtkraft eines Systems von Massen mit mehr als zwei Elementen hängt also nicht allein von den Eigenschaften ab, die die einzelnen Elemente haben, sondern auch von den Beziehungen, in denen sie zu anderen Elementen des Systems stehen. Je nach Komplexität des Systems ändert sich das Kraftgesetz.

Webers Gesetz bildete für lange Zeit den Kern eines sehr erfolgreichen Forschungsprogramms, an dem viele Physiker in Deutschland mitarbeiteten, darunter Riemann, Clausius, Carl Neumann, Eduard Riecke und Hermann Grassmann. Im Jahre 1872 versuchte der Astrophysiker Karl Friedrich Zöllner Webers Gesetz zu verallgemeinern und ihm sogar Newtons Gravitationsgesetz unterzuordnen. Es gab auch Versuche, das Gesetz zur Erklärung der spezifisch biologischen Phänomene heranzuziehen (Fechner 1855, 185–187, Lotze 1842). Man kann nicht sagen, dass Webers Gesetz jemals widerlegt worden wäre. Es wurde schließlich von Maxwells Theorie abgelöst. Die von H.A. Lorentz 1892 aufgestellte Elektronentheorie bildete in vieler Hinsicht eine Synthese der Maxwellschen Theorie mit der Weber-Tradition.

Der schärfste zeitgenössische Kritiker Webers war Hermann von Helmholtz (1821-1894), der Webers Gesetz genau wegen seiner holistischen Implikationen angriff. Helmholtz war der Überzeugung, dass geschwindigkeitsabhängige Potentiale, wie sie in Webers Theorie als Folge der Annahme emergenter Kräfte auftauchen, gegen den Energieerhaltungssatz verstoßen. Obwohl er sich stark darum bemühte, konnte er jedoch keinen klaren und eindeutigen Beweis für diesen Verstoß finden. Sein eigenes Argument für die Energieerhaltung ruhte auf der Voraussetzung, dass die letzten elementaren Kräfte in der Natur zentrale Fernkräfte sind, die nicht von der Existenz dritter Massen abhängen. Helmholtz hatte also jedes Interesse daran, Webers Gesetz zu bekämpfen. Wie so viele andere Kontroversen in der Geschichte der Naturwissenschaften wurde auch diese Auseinandersetzung zwischen Weber und Helmholtz über die Natur physikalischer Kräfte nicht gelöst, sondern nach dem Aufkommen der Maxwellschen Feldtheorie schlicht vergessen.

Webers Kraftbegriff ist nun ein sehr guter Kandidat für eine emergente Eigenschaft. Eine Kraft, die gemäß dem Weberschen Gesetz in einem System von mehr als zwei Partikeln wirkt, kann nicht zurückgeführt werden auf die Zusammensetzung der Wirkungen von Elementarkräften zwischen je zwei Partikeln. Es ist nicht möglich, die Kräfte zwischen den einzelnen Paaren zu „summieren“, da die Größe jeder Paarkraft abhängt von den weiteren Partikeln, mit denen das Paar zusammen ein System bildet. Die Gesamtkraft des Systems enthält die Kräfte der sie konstituierenden Zwei-Partikel-Systeme nicht als Teile (zumindest in keinem gewöhnlichen Sinn des Wortes „enthalten“ mehr).

An dieser Stelle ist noch ein Wort zur Geschichte des Emergenzbegriffs angebracht. In heutigen Darstellungen dieser Geschichte (Stephan 1990, 1992, 25 f., Stöckler 1990, 9 f.,

verschiedene Beiträge in Beckermann 1992) wird der Ursprung des Emergenzgedankens in Mills *System of Logic* von 1843 gesehen. Mill diskutiert dort (Buch III, Kap. VI) die Frage, ob die Eigenschaften des Wassers andere sind als die von Wasserstoff und Sauerstoff, und ob sich lebendige Organismen auf die Wirkungen rein mechanisch wirkender Komponenten zurückführen lassen oder nicht. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Mill mit seinen Beispielen aus der Chemie auf dieselbe Quelle zurückgreift, aus der auch Weber schöpft. Weber beruft sich auf die Forschungen des Chemikers Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) zu katalytischen Phänomenen. Aus dem elektrodynamischen Grundgesetz scheint zu folgen, schreibt Weber,

dass die unmittelbare Wechselwirkung zweier elektrischen Massen nicht ausschließlich von diesen Massen selbst und ihren Verhältnissen zu einander, sondern auch von der Gegenwart dritter Körper abhängig sei. Nun ist bekannt, dass Berzelius eine solche Abhängigkeit der unmittelbaren Wechselwirkung zweier Körper von der Gegenwart eines dritten schon vermutet hat, und die daraus resultierenden Kräfte mit dem Namen der katalytischen bezeichnet hat. Bedienen wir uns dieses Namens, so kann hiernach gesagt werden, dass auch die elektrischen Erscheinungen zum Teil von katalytischen Kräften herrühren (Weber 1846, 376).

Berzelius hatte 1846 zur Erklärung verschiedener rätselhafter chemischer Vorgänge (Entzündung von Knallgas durch Platin usw.) den Begriff der katalytischen Kraft eingeführt. Eine solche Kraft schien nach seiner Meinung dann zu bestehen, wenn „Körper durch ihre bloße Gegenwart, und nicht durch ihre Verwandtschaft [Affinität]“ chemische Tätigkeiten hervorrufen, die ohne sie nicht stattfinden. Berzelius äußerte die Vermutung, dass „in den lebenden Pflanzen und Thieren tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und den Flüssigkeiten vor sich gehen“ (Berzelius 1836, 243). Während Berzelius noch überzeugt war, dass die katalytischen Kräfte eines Tages elektrochemisch erklärt werden können, interpretierte Weber sie, wie viele seiner Zeitgenossen, als emergente Eigenschaften und machte sie zur nicht weiter reduzierbaren Grundlage seiner Elektrizitätslehre.

Auch der Mediziner und Philosoph Hermann Lotze, der mit Weber befreundet war, diskutierte schon vor Mill, im Jahre 1842, mit Beispielen aus der Chemie und Biologie den Unterschied zwischen einerseits „mechanischen“ Wirkungen, die auf die Komposition einzelner Kräfte zurückgehen, und „dynamischen“ Wirkungen andererseits, die von den Beziehungen abhängen, in denen einzelne Teile zum Ganzen stehen. Dass Lotze emergente Wirkungsformen als „dynamisch“ bezeichnet und den mechanischen Wirkungen gegenüberstellt, zeigt den naturphilosophischen Unterton seiner Begrifflichkeit (Lotze 1842, 142-145, 165, 167, 170).

Bei Lotze finden sich schon fast alle Elemente, die in späteren Diskussionen um die Emergenz eine Rolle spielen. Man könne sich denken, schreibt er, dass

die Verbindung einzelner chemischer Grundstoffe ... Eigenschaften und Wirkungsformen entfalte, die nicht nur unsere Erkenntnis nicht als Resultate aus den Eigenschaften der Bestandtheile begreifen könne, sondern die selbst objectiv keineswegs aus deren Zusammensetzung hervorgehen (Lotze 1843, 142 f.).

Lotze spricht von „neuauf tretenden Eigenschaften“ bei Zusammensetzung von Bestandteilen und ihrer „mangelnden Ableitbarkeit“. Als Beispiel bezieht er sich auf die chemischen Eigenschaften von Schwefel und Sauerstoff, die einzeln ganz andere sind als die Eigenschaften der Schwefelsäure selbst. Auch weist er darauf hin, dass sich der Geschmack von Schwefelsäure nicht aus dem Geschmack von Schwefel und von Sauerstoff erzeugen lässt.

4. Emergenz im ontischen Sinne

Kann Webers Konzeption einer irreduziblen Gesamtkraft als Modell für eine ontische Definition der Emergenz dienen? Kann man, wie Lotze, von Eigenschaften sprechen, die nicht bloß unsere Erkenntnis nicht als Resultat aus den Eigenschaften der Bestandteile begreifen kann, sondern die objektiv nicht aus deren Zusammensetzung hervorgehen? Der entscheidende Punkt bei Weber und Lotze scheint zu sein, dass die Komplexität eines Systems ab einem gewissen Grad die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile außer Kraft zu setzen scheint und zu einer neuen Eigenschaft verursacht. Als Quintessenz bietet sich folgende Definition an:

Eine Eigenschaft eines Systems heißt emergent, wenn sich ihre kausale Rolle im System nicht aus der kausalen Wechselwirkung der einzelnen Bestandteile des Systems ergibt.

Während in der ontischen Konzeption der Erklärung die Existenz eines speziellen kausalen Mechanismus *behauptet* wird, der ein Ereignis mit einem anderen verbindet, wird in der ontischen Konzeption der Emergenz ein kausaler Mechanismus *geleugnet*. Es wird das Fehlen einer (vollständigen) kausalen Verbindung der zu erklärenden Eigenschaft mit den Eigenschaften der Bestandteile konstatiert. In Webers Elektrodynamik ausgedrückt: Durch das Zusammenbringen zweier Massen mit einer dritten, die sie bisher noch nicht beeinflusst hat, entsteht eine Gesamtkraft, die einem anderen Gesetz folgt als die Kraft im Zwei-Massen-System.

Der Einwand, der erhoben werden könnte, dass die Nichtexistenz einer Kausalverbindung nicht schlüssig nachzuweisen sei, zieht nicht. Würde man ihn ernst nehmen, müsste man analog auch die Behauptung der Existenz einer Kausalverbindung ablehnen. So wenig wir uns dadurch vom Erklären abbringen lassen, dass sich jede behauptete Ursache prinzipiell als vermeintlich herausstellen kann, so wenig müssen wir den Begriff der Emergenz schon deshalb verwerfen, weil sich die Behauptung einer fehlenden Kausalverbindung als zu voreilig erweisen kann. Die Plausibilität von Behauptungen über Existenz oder Nichtexistenz von Ursachen wird durch den Erfolg des Erklärungsgeflechts der Wissenschaft im Ganzen verstärkt oder vermindert. Sie kann aber nicht streng bewiesen werden.

Um die Tragweite der ontischen Konzeption von Emergenz auszuloten, überlegen wir uns, bei welcher Art von Theoriebildung sie Verwendung finden könnte. Robert Cummins unterscheidet zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Theorien: „Veränderungstheorien“ (transition theories) auf der einen Seite, mit deren Hilfe wir Veränderungen von Systemen auf bestimmte Ursachen zurückführen, und „Eigenschaftstheorien“ andererseits, mit denen wir erklären, welche Besonderheiten eines Systems für eine bestimmte Eigenschaft verantwortlich sind, auf welchem Zusammenspiel von welchen Elementen eine bestimmte Systemeigenschaft beruht (Cummins 1983, Kap. 1). Die kinetische Gastheorie, als eine Eigenschaftstheorie, identifiziert die Temperatur eines Gases mit der mittleren kinetischen Energie der Moleküle, aus denen das Gas besteht. Als eine Veränderungstheorie sagt sie uns, warum z.B. die Erniedrigung der Temperatur eines Gases bei gleichem Druck zu einer Verringerung seines Volumens führt.

Welcher Art ist eine Theorie, die gewisse Phänomene in der Welt durch Hinweis auf ihren emergenten Charakter erklärt? Wir haben hier eine Theorieart vor uns, die von beiden Theorietypen einen Teil übernimmt, so dass eine Art „Eigenschaftsveränderungs-Theorie“ oder auch „morphogenetische Theorie“ entsteht. Wenn wir sagen, dass die Eigenschaft eines Systems emergent ist, implizieren wir, dass eine Zustandsänderung stattgefunden hat und dass die Ursache dafür, dass das System nun eine andere Eigenschaft hat, nicht in den Eigenschaften seiner Bestandteile liegt. Unter dieser Perspektive wird der ontische Charakter der hier vorgeschlagenen Konzeption der Emergenz besonders deutlich.

Mit der ontischen Definition der Emergenz ist nun der (im Abschnitt 1 dargestellten) Kritik des logischen Empirismus der Boden entzogen. Eine Eigenschaft emergent zu nennen

heißt nun nicht mehr, eine Behauptung über ihre Beziehung zum Zustand einer Person (nämlich ihre Erwartbarkeit in Bezug auf eine Theorie, an die die Person glaubt) aufzustellen, sondern eine Behauptung über ihre Beziehung zu den Bestandteilen des Systems (nämlich die Nichtexistenz einer Kausalverbindung).

Trotzdem bleibt aber die ursprüngliche Intuition der frühen Emergenz-Theoretiker gewahrt. Analog zu der ontisch interpretierten Erklärung gilt auch hier: Ist eine Eigenschaft im ontischen Sinne emergent, so folgt daraus, dass sie neuartig (aus keiner Theorie ableitbar, vorhersagbar...) ist. Aber es gilt natürlich nicht, dass jede Eigenschaft, die nicht aus den bisherigen Theorien ableitbar ist, auch emergent wäre.

5. Die Wirklichkeit emergenter Eigenschaften

Nun stellt sich sofort die Frage, ob es tatsächlich emergente Eigenschaften in der Welt gibt. Dies ist gleichbedeutend mit der Frage, ob man in den Wissenschaften notwendigerweise verschiedene Erklärungsebenen unterscheiden muss, die zwar aufeinander aufbauen, aber nicht durch Bezugnahme auf fundamentale Eigenschaften aus einer jeweils tieferen Ebene erklärt werden können. Wieder anders formuliert würde die Frage lauten, ob es mikroindeterminierte Eigenschaften gibt, also Eigenschaften von Systemen, die nicht durch die Eigenschaften der Komponenten determiniert sind.

Es liegt auf der Hand, dass es für eine bejahende Antwort keinen strengen Beweis geben kann. Die Behauptung, eine bestimmte Eigenschaft sei emergent, kann, wie schon gesagt, mit dem Bekanntwerden neuer Erfahrungen prinzipiell immer widerlegt werden. Wenn es eine Theorie gibt, nach der eine für emergent gehaltene Systemeigenschaft nur kraft der Komponenteneigenschaften besteht, also mikrodeterminiert ist, dann ist die Vermutung der Emergenz in dem Maße entkräftet, in dem die besagte Theorie empirisch bestätigt ist.

Mit diesem Zugeständnis werden Vermutungen über bestehende Emergenzen aber nicht sinnlos. In dieser Hinsicht geht es dem Emergenzbegriff nicht besser und nicht schlechter als vielen anderen Begriffen mit ähnlichem Status, z.B. dem des Indeterminismus: Die Behauptung, ein Ereignis sei kausal indeterminiert, kann prinzipiell immer dadurch widerlegt werden, dass man eine Erklärung mit deterministischen Kausalgesetzen dafür vorlegt. Dies ändert jedoch nichts an der Möglichkeit, dass das Universum, wie uns die Naturwissenschaft der Gegenwart auf vielen Gebieten nahe legt, bis zu einem gewissen Grade indeterminiert ist. Diese Eigenschaft des Universums lässt sich nicht direkt beweisen, aber indirekt aus den besten Theorien, die uns zurzeit zur Verfügung steht, erschließen.

Auch für die Realität der Emergenz gibt es indirekte Hinweise, die von dem eben genannten Indeterminismus geliefert werden. Ich möchte die Behauptung verteidigen, dass unter Zugrundelegung eines bestimmten Ereignisbegriffs aus der Annahme der partiellen kausalen Indeterminiertheit des Universums die Existenz emergenter Eigenschaften folgt. Mit anderen Worten: In einem indeterministischen Universum, in dem Ereignisse eine ganz bestimmte Form haben, muss es notwendig irgendwann und irgendwo zu emergenten Eigenschaften kommen. Falls sich diese These als plausibel erweist, ist sicher noch zu wenig für die Identifizierbarkeit konkreter emergenter Eigenschaften gewonnen. Es wird aber die prinzipielle Möglichkeit und Wirklichkeit der Emergenz eingeräumt und damit wenigstens eine „kosmologische“ Perspektive auf das Problem der Emergenz ins Blickfeld gerückt.

Achim Stephan hat zu Recht betont, dass die Abwesenheit von Emergenz allein noch nicht den Determinismus impliziert (Stephan 1992, 35 f.), man also nicht schlechthin vom Indeterminismus auf die Emergenz rückschließen kann. Ich möchte aber im Folgenden zeigen, dass dieser Rückschluss wenigstens in einem Universum, dessen Ereignisse durch Umgruppierung seiner Bestandteile zustande kommen, zulässig ist. Es scheint mir

unproblematisch zu sein, anzunehmen, dass die Ereignisse unserer Welt alle von dieser Art sind.

Ich definiere zunächst einige Begriffe: Ein Ereignis heiße zusammengesetzt, wenn es dadurch zustande kommt, dass sich Komponenten eines Bereichs zu einem System zusammensetzen, das bisher nicht bestand oder ein System verlassen, mit dem sie bisher für eine Zeit verbunden waren. Ein zusammengesetztes Ereignis kann also durch das Zusammenbringen oder Auseinandertreten von Komponenten gekennzeichnet werden. Ein System heiße nun mikrodeterminiert, wenn seine Eigenschaften mikrodeterminiert sind und wenn die Ereignisse, in die es involviert ist, zusammengesetzt sind.

Nun kann die These, die ich verteidigen möchte, so umformuliert werden: Wenn das Universum mikrodeterminiert ist, dann ist es auch kausal determiniert. Dies ist gleichbedeutend mit der Behauptung: Wenn die Ereignisse im Universum zusammengesetzt sind und wenn es indetermierte Ereignisse gibt, dann ist das Universum mikroindeterminiert, d.h. dann gibt es emergente Eigenschaften.

Falls ein System mikrodeterminiert ist, dann ist diese Eigenschaft durchgängig: d.h. nicht nur die Eigenschaften dieses einen Systems werden durch die Eigenschaften der Komponenten bestimmt, sondern die Eigenschaften aller möglichen Systeme, die sich aus allen oder einem Teil der Komponenten zusammensetzen lassen. Wenn also das Universum mikrodeterminiert ist, dann gibt es Gesetze, nach denen der Zustand der einzelnen Komponenten des Universums den Zustand aller Systeme determiniert, die aus ihnen zusammensetzbar sind.

Wenn nun das Universum mikrodeterminiert ist, dann werden alle Ereignisse durch Umgruppierung der Komponenten des Universums verwirklicht. Greifen wir nun ein beliebiges Ereignis E zu einem bestimmten Zeitpunkt heraus. Es kam dadurch zustande, dass sich gewisse Komponenten zu einem System S zusammenfanden, das vorher nicht (oder wenigstens für eine Zeit nicht) bestand. Das Ereignis E ist also eine Instantiierung von Eigenschaften von S zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Da S nach Voraussetzung mikrodeterminiert ist, hängen seine Eigenschaften von den Eigenschaften seiner Bestandteile ab. Diese Eigenschaften waren aber schon zu früheren Zeiten realisiert und mikrodeterminieren durchgängig alle möglichen Zusammensetzungen. Also ist E von solchen früheren Ereignissen bestimmt, in denen schon die gleichen Komponenten wirksam waren wie in ihm selbst. Htten die Bestandteile zu früheren Zeitpunkten andere Eigenschaften besessen, so wäre auch das Ereignis E nicht eingetreten, sondern ein anderes. Damit ist gezeigt, dass ein mikrodeterminiertes Universum deterministisch ist. Da der Indeterminismus wahrscheinlich in unserer Welt partiell realisiert ist, folgt schließlich, was zu zeigen war, dass es in unserer Welt wahrscheinlich emergente Eigenschaften gibt.

Der Determinist behauptet, wie Charles Sanders Peirce es ausdrückte, „dass der zu irgendeiner Zeit vorliegende Zustand der Dinge zusammen mit gewissen unveränderlichen Gesetzen den Zustand der Dinge zu jeder anderen Zeit ... vollständig determiniere“ (Peirce 1892, 161). Der Indeterminist hält dem entgegen, dass es Zustände der Dinge gibt, die durch keinen (zu irgendeiner anderen Zeit vorliegenden) Zustand der Dinge, zusammen mit den Gesetzen, vollständig determiniert sind.

Wenn man die Emergenz in so engen Zusammenhang mit dem Indeterminismus bringt, wie es hier versucht wird, dann sind die Anfangsbedingungen des Universums der springende Punkt bei der ganzen Sache. Falls nämlich emergente Eigenschaften tatsächlich auftreten, dann heißt dies nichts anderes, als dass sich die Anfangsbedingungen des Universums im Laufe der Zeit verändern (unabhängig davon, ob das Universum nun einen zeitlichen Anfang besitzt oder nicht). Das Problem, woher diese Veränderungen kommen, ist nicht mehr, aber auch nicht weniger rätselhaft als das Problem, warum ein determiniertes Universum gerade diese und keine anderen Anfangsbedingungen hat, die es faktisch besitzt.

Im Abschnitt 4 wurde die Ansicht vertreten, dass der Emergenzbegriff in einer Theorie Verwendung finden könnte, die Eigenschaftsveränderungen erklärt. Den überzeugendsten Versuch in dieser Richtung hat Peirce unternommen. Wir müssen zugeben, sagte er, dass unser Universum immer komplexer und vielfältiger wird. In einer deterministischen Theorie kann es keine Erklärung dafür geben; sie kann das Anwachsen der Vielfalt nur als *factum brutum* hinnehmen. Wenn man jedoch ein gewisses Maß an Indeterminiertheit und damit emergente, kausal wirksame Eigenschaften zulässt, dann trägt man, in den Worten von Peirce, „all der Vielfalt und Verschiedenheit des Universums in dem einzigen Sinn Rechnung, in dem man sagen kann, dass einer Sache, die wirklich *sui generis* und neu ist, Rechnung getragen wird“ (Peirce 1892, 173).

6. Emergenz und kausale Notwendigkeit

Zum Schluss möchte ich mich mit einem Einwand auseinandersetzen, den Thomas Nagel gegen die Annahme emergenter Eigenschaften komplexer Systeme gerichtet hat (Nagel 1984, besonders 204-206). Nagel unterscheidet zwei Konzeptionen der Kausalität: Die Konzeption David Humes, nach der Kausalität mit konstanter regelmäßiger Abfolge identifiziert wird und die anti-Humesche Konzeption, die dies für nicht ausreichend hält und zusätzlich noch die Existenz notwendiger Ursache-Wirkungs-Verknüpfungen in der Welt annimmt. Für einen Anti-Humaner ist eine generelle Korrelation höchstens ein *Indiz* für Kausalität, aber noch nicht die Kausalität selbst. Nagel hält Humes Regularitätstheorie der Kausalität für inadäquat, da es offenkundig kausal notwendige Zusammenhänge gebe.

Er versucht nun zu zeigen, dass das Auftreten kausal wirksamer, emergenter Eigenschaften nur mit Humes Konzeption der Kausalität, nicht aber mit kausaler Notwendigkeit vereinbar ist. In einer Welt kausaler Notwendigkeiten hält Nagel emergente Eigenschaften für undenkbar, da in einer solchen Welt alle Eigenschaften notwendigerweise von den physikalischen Eigenschaften und Relationen der Bestandteile Abhängen: Mit der Zurückweisung des Humeschen Kausalitätsbegriffs fällt also auch der Emergenzbegriff.

Abgesehen davon, dass sich die Humesche Theorie nicht so leicht vom Tisch wischen lässt, wie Nagel sich dies vorstellt, scheint mir der Fall gerade umgekehrt zu liegen: In einer Humeschen Welt hat es überhaupt keinen Sinn, vom regelmäßigen Auftreten emergenter Eigenschaften zu sprechen. Nach der Konzeption Humes ist jede Eigenschaft eines komplexen Systems *per definitionem* von den Komponenteneigenschaften verursacht, wenn sie regelmäßig mit ihnen korreliert. In einer Welt kausaler Notwendigkeiten lassen sich jedoch prinzipiell zweierlei Arten von Regelmäßigkeiten unterscheiden: solche, die auf kausaler Notwendigkeit beruhen und solche, die das nicht tun. Da bei emergenten Eigenschaften *per definitionem* eine notwendige Verbindung zu den Eigenschaften der Bestandteile fehlt, kann also nur in einer Welt notwendiger Ursache-Wirkungs-Verhältnisse sinnvollerweise von dem regelmäßigen oder häufigen Auftreten emergenter Eigenschaften von Systemen gesprochen werden.

In der Welt Humes dagegen ist nicht zu unterscheiden, ob Ereignisse der Art A einen Mechanismus in Gang setzen, der zufälligerweise häufig zu Ereignissen der Art B führt oder ob eine „echte“ naturbedingte regelmäßige Aufeinanderfolge von A und B vorliegt. Der Humeaner kann also so tun, als sei der Zufall (die kontingente Regelmäßigkeit) selbst eine Ursache. In einer Welt kausaler Notwendigkeiten lässt sich jedoch Platz finden für emergente Eigenschaften, die regelmäßig (oder mit konstanter relativer Häufigkeit) auftreten.

Ich stimme mit Thomas Nagel überein, dass die Auskunft, mentale Zustände seien emergente Eigenschaften, beim gegenwärtigen Wissensstand mehr eine Ausflucht als eine Erklärung darstellt. Im vorliegenden Aufsatz sollte auch nicht die Emergenz des Mentalen verteidigt werden, sondern die prinzipielle Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit ontisch

verstandener emergenter Eigenschaften in unserem Universum, das durch objektive Indeterminiertheit und durch stetig wachsende Komplexität und Vielfalt gekennzeichnet ist.¹

¹ Ich danke Achim Stephan und Helmut Pape für kritische Bemerkungen zur ersten Fassung dieses Aufsatzes.

LITERATUR

- Archibald, Thomas (1989), „Energy and the Mathematization of Electrodynamics in Germany, 1845-1875“, *Archives internationales d'histoire des sciences* 39, 276-308.
- Beckermann, Ansgar/Hans Flohr/Jaegwon Kim (1992), *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, Berlin: de Gruyter.
- Berzelius, Jacob (1836), „Einige Ideen über eine bei der Bildung organischer Verbindungen in der lebenden Natur wirksame, aber bisher nicht bemerkte Kraft“, *Jahres-Bericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften von Jacob Berzelius* 15, 1836, 237-245.
- Bunge, Mario (1977), „Emergence and the Mind“, *Neuroscience* 2, 501-509.
- Cummins, Robert (1983), *The Nature of Psychological Explanation*, Cambridge: Bradford Books.
- Fechner, Gustav Theodor (1855), *Über die physikalische und philosophische Atomenlehre*, Leipzig: Mendelssohn 1855.
- Hempel, Carl G. und Paul Oppenheim (1948), „Studies in the Logic of Explanation“, *Philosophy of Science* 15, 135-175. Zitiert nach Hempel 1965, 245-290.
- , (1965), *Aspects of Scientific Explanation*, New York: Free Press.
- Hoyningen-Huene, Paul (im Druck), „Emergenz versus Reduktion“, *Proceedings of ‚Analyomen‘*, hg. V. Georg Meggle und Ulla Wessels, Berlin: de Gruyter, im Druck.
- Lambert, Karel und Gordon G. Brittan (1991), *Eine Einführung in die Wissenschaftsphilosophie*, Berlin: de Gruyter.
- Lotze, Hermann (1842), „Leben. Lebenskraft“, *Handwörterbuch der Physiologie*, hg. v. Rudolph Wagner, Bd. 1, Braunschweig: Vieweg. S. IX-LVIII. Zitiert nach Lotze, *Kleine Schriften*, Leipzig: Hirzel 1885, 139-220.
- Mill, John Stuart (1843), *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive*, London. Zitiert nach Mill, *Collected Works*, Bd. VII, Toronto 1973.
- Nagel, Ernest (1961), *The Structure of Science*, London: Routledge.
- Nagel, Thomas (1984), „Panpsychismus“, in: ders., *Über das Leben, die Seele und den Tod*, Königsberg: Hain, 200-214.
- Peirce, Charles S. (1892), „Untersuchung der Lehre vom Determinismus“, in: ders., *Naturordnung und Zeichenprozeß*, hg. v. Helmut Pape, Aachen: Alano 1988, 159-178 (engl. In: *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Bd. 6: *Scientific Metaphysics*, hg. v. Ch. Hartshorne und P. Weiss, 3. Aufl., Cambridge/Ma.: Harvard University Press 1965, 35-65.
- Popper, Kar R. und John C. Eccles (1977), *Das Ich und sein Gehirn*, München: Piper 1982 (engl. 1977).
- Rosenberger, Ferdinand (1887), *Die Geschichte der Physik*, Bd. 3, Braunschweig: Vieweg.
- Salmon, Wesley C. (1984), *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton: Princeton University Press 1984.
- Schurz, Gerhard (1988), *Erklären und Verstehen in der Wissenschaft*, München: Oldenbourg 1988.

- Smart, J.J.C. (1981), „Physicalism and Emergence“, *Neuroscience* 6, 109-113.
- Sperry, Roger W. (1980), “Mind-brain interaction, yes; dualism, no”, *Neuroscience* 5, 195-206.
- Stephan, Achim (1990), “Einige Überlegungen zum Begriff der Emergenz”, Ms.
- , (1992), “Emergence – A Systematic View on its Historical Facets”, in: Beckermann 1992, 25-48.
- Stöckler, Manfred (1990), “Emergenz. Bausteine für eine Begriffsexplikation”, *Conceptus* 24, 7-24.
- Weber, Wilhelm (1846), „Elektrodynamische Maassbestimmungen insbesondere über ein allgemeines Grundgesetz der elektrischen Wirkung“, *Abhandlungen bei Begründung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften*, 1846, 209-378.
- Wiederkehr, Karl Heinrich (1960), *Wilhelm Webers Stellung in der Entwicklung der Elektrizitätslehre*, Diss., Math.-Nat. Fak., Universität Hamburg.
- Wise, M. Norton (1981), „German Concepts of Force, Energy, and the Electromagnetic Ether: 1845-1880“, *Conceptions of Ether: Studies in the History of Ether Theories, 1740-1900*, hg. v. G.N. Cantor/M.J.S. Hodge, Cambridge: Cambridge University Press, 169-307.
- , (1990), “Electromagnetic Theory in the Nineteenth Century”, *Companion to the History of Science*, hg. v. R.C. Olby et al., London: Routledge, 342-356.