

## Emergenz

Von Achim Stephan und Ansgar Beckermann

## Geschichte des Begriffs

Der Begriff der Emergenz wurde im heute gebräuchlichen Sinn erstmals von G.H. Lewes in *Problems of Life and Mind* (1875) verwendet. Er unterscheidet dort emergente von resultierenden Wirkungen. Die emergenten Wirkungen eines Systems können nicht auf die Summe der Wirkungen der Systemkomponenten zurückgeführt werden. Lewes greift damit eine Unterscheidung auf, die vor ihm bereits J. St. Mill in seiner wissenschaftsphilosophischen Abhandlung *A System of Logic* (1843) zwischen homopathischen und heteropathischen Gesetzen getroffen hatte. Nach Mill heißt ein Gesetz homopathisch, wenn die Wirkung einer komplexen Ursache der (algebraischen oder vektoriellen) Summe der Wirkungen der Partialursachen gleich ist (wie z.B. bei der Gewichtsaddition oder der Superposition von Kräften), andernfalls heißt es heteropathisch.

In den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts findet der Begriff der Emergenz ein neues breites Interesse. Viele Autoren - unter ihnen S. Alexander, C. Lloyd Morgan und C.D. Broad - waren davon überzeugt, mit Hilfe einer Theorie der Emergenz den Disput zwischen Vitalisten und Mechanisten über die zutreffende Erklärung der Lebensprozesse beenden und dem jeweils Richtigen der beiden Positionen gerecht werden zu können. Beispielhaft ist Broads Charakterisierung einer Theorie der Emergenz: Im Gegensatz zu vitalistischen Positionen geht diese Theorie wie der Mechanismus davon aus, daß alle "höheren" Eigenschaften lebender Wesen durch die Teile dieser Wesen und deren Zusammenwirken

vollständig determiniert sind und daher ohne die Annahme einer weiteren Substanz (eines élan vital oder einer Entelechie) erklärt werden können. Im Gegensatz zum Mechanismus vertritt die Theorie der Emergenz aber die Auffassung, daß diese höheren Eigenschaften nicht aus dem Verhalten der Teile - isoliert oder in anderen Systemen betrachtet - abgeleitet werden können.

Im Anschluß an die Arbeiten von Alexander, Lloyd Morgan und Broad wird der Emergenzbegriff und seine wissenschaftliche Fruchtbarkeit ausführlich diskutiert (nähere Angaben in 4). Diese Diskussion findet ein vorläufiges Ende mit der ausführlichen Behandlung des Emergenzbegriffes in Hempel und Oppenheim (11) und Nagel (15). Denn deren Analyse führt zu einem recht schwachen, epistemischen und theorie-relativen Begriff der Emergenz, der kein besonderes wissenschaftstheoretisches Interesse mehr beanspruchen kann. Das abflauende Interesse am Begriff der Emergenz hatte jedoch auch noch einen anderen Grund: Die zunehmenden Erfolge der Quantenphysik ließen die paradigmatischen, meist aus der Chemie stammenden Beispiele für (nicht reduzierbare) emergente Eigenschaften als unhaltbar erscheinen; der Deduzierbarkeit von Eigenschaften neuer chemischer Stoffe schienen zumindest keine prinzipiellen Grenzen gesetzt (vgl. dazu besonders 3).

## Aspekte des Emergenzbegriffs

Der Begriff der Emergenz weist in seiner - im Vergleich zu anderen philosophischen Begriffen - eher kurzen Geschichte bereits sehr viele Schattierungen auf (einen aus-

föhrlichen systematischen Überblick gibt 4).

Erstens gibt es verschiedene "Entitäten", die als emergent charakterisiert werden: Gesetze, Kräfte, Wirkungen, "höhere" Systemeigenschaften, Eigenschaften von Bestandteilen in komplexen Systemen oder Systeme als solche. Systematisch gesehen lassen sich die meisten Emergenztheorien jedoch so analysieren, daß in ihnen die Emergenz bestimmter Systemeigenschaften behauptet wird.

Zweitens stellt sich die Frage, was eigentlich das Charakteristikum emergenter Systemeigenschaften sein soll. Hier lassen sich drei Hauptvarianten unterscheiden:

- Neuartigkeit. Emergente Systemeigenschaften tauchen zu einem bestimmten Zeitpunkt der Entwicklung des Universums zum ersten Mal auf (vorher gab es keine Gegenstände mit diesen Eigenschaften), und sie sind Eigenschaften, die nur komplexen Systemen, nicht aber deren Teilen zukommen.
- Unvorhersagbarkeit. Emergente Systemeigenschaften hätten vor ihrem ersten Auftreten nicht vorhergesagt werden können.
- Nichtreduzierbarkeit. Emergente Systemeigenschaften können nicht auf die Eigenschaften der Elemente des Systems und deren Zusammenwirken zurückgeführt werden.

Ein nur im Sinne von Neuartigkeit verstandener Emergenzbegriff verdient offenbar kein besonderes theoretisches Interesse. Natürlich ist unbestritten, daß Lebewesen oder geistbegabte Wesen erst zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Entwicklung des Universums entstanden sind, daß die Teile von Lebewesen (ihre Organe) selbst nicht leben und die Teile von geistbegabten Wesen selbst nicht denken und fühlen. Aber damit ist kein interessanter Unterschied markiert. Denn dasselbe gilt auch für chemische Stoffe wie Ammoniak oder geologische Gebilde wie Berge. Wenn man Emer-

genz in diesem Sinne faßt, müßten daher fast alle Systemeigenschaften als emergent angesehen werden.

Wenn man "emergent" im Sinne von "nicht vorhersagbar" versteht, ist zunächst die Frage, was damit genau gemeint sein soll. Die Unfähigkeit, das Auftreten eines bestimmten Phänomens vorauszusagen, kann einerseits nämlich auf mehr oder weniger kontingenten epistemischen Defiziten beruhen: Man kennt zum Zeitpunkt der Vorhersage nicht alle relevanten Gesetze oder Anfangsbedingungen. Das Verhalten chaotischer Systeme ist in diesem Sinne häufig nicht vorhersagbar, da es von minimalen Variationen in den relevanten Anfangsbedingungen abhängt, die uns z.B. aus meßtechnischen Gründen unzugänglich sind. Schon der Ausdruck "deterministisches Chaos" macht jedoch deutlich, daß auch das Verhalten dieser Systeme durch die tatsächlich realisierten Anfangsbedingungen vollständig determiniert ist. Es ist daher durchaus fraglich, ob die faktische Unvorhersagbarkeit chaotischer Prozesse ein Umstand von besonderem theoretischen Interesse ist, der eine besondere Klasse von Phänomenen auszeichnet. Mit anderen Worten, ein nur epistemisch charakterisierter Emergenzbegriff scheint ebenfalls kein besonders interessanter Begriff zu sein.

Systematisch interessant ist jedoch der Fall, in dem es unmöglich ist, ein Phänomen vorherzusagen, weil nur die Untersuchung eben dieses Phänomens zur Kenntnis der Gesetze führen kann, die für die Vorhersage erforderlich sind, da diese Gesetze völlig "einzigartig" sind und nicht aus einer allgemeinen Theorie abgeleitet werden können. Dies ist jedoch auch genau der Fall, in dem - zumindest wenn man Broads Analyse des Emergenzbegriffs folgt - das emergente Phänomen nicht reduzierbar ist. Denn nach Broad ist die Eigenschaft  $F$  eines Systems, das aus den Teilen  $C_1, \dots, C_n$  besteht, die in der Weise  $R$  angeordnet sind, (d.h. eines Systems mit der Mikrostruktur

## DAS STICHWORT

$\{C_1, \dots, C_n, R\}$  genau dann emergent, wenn es (a) zwar ein Gesetz gibt, demzufolge jedes System mit den gleichen Teilen in der gleichen Anordnung ebenfalls die Eigenschaft  $F$  hat, wenn (b)  $F$  aber nicht auf allgemeine Weise aus den Eigenschaften der Teile  $C_1, \dots, C_n$  und deren Anordnung abgeleitet werden kann, d.h. wenn das unter (a) genannte Gesetz in dem Sinn "unique and ultimate" ist, daß es nicht aus einer allgemeinen Theorie  $T$  gewonnen werden kann (für eine genauere Analyse siehe Beckermann in 7, pp. 94-118).

Die Frage, ob es Eigenschaften gibt, die in diesem starken Sinn emergent sind, ist offenbar von großer wissenschaftlicher Bedeutung. Wissenschaftshistorisch läßt sich sogar zeigen, daß es vielen Wissenschaftlern um den Nachweis gegangen ist, daß bisher nicht verstandene Systemeigenschaften (der Aggregatzustand physischer Stoffe, die elektrische Leitfähigkeit von Metallen, die Farben und Reaktionen chemischer Substanzen, die Fähigkeit zur Reproduktion bei Lebewesen, usw.) doch auf die Teile des Systems und deren Zusammenwirken zurückgeführt werden können und daß sie daher nicht im Broadschen Sinne emergent sind.

Die angeführte Broadsche Formulierung führt allerdings noch zu einem dritten Aspekt des Emergenzbegriffs. Die Rolle, die allgemeine Theorien bei dieser Charakterisierung des Emergenzbegriffs spielen, hat z.B. Hempel und Oppenheim zu der These geführt, Emergenz sei ein theoriorelativer Begriff, eine Systemeigenschaft  $F$  sei emergent immer nur bezüglich einer bestimmten Theorie  $T$ . Man könne nämlich immer nur für bestimmte Theorien zeigen, daß das Gesetz, das die Mikrostruktur des Systems mit der Eigenschaft  $F$  verbindet, aus diesen Theorien nicht abgeleitet werden kann. Ein absoluter, nicht theoriorelativer Emergenzbegriff beinhaltet dagegen die negative Existenzbehauptung, daß dieses Gesetz aus keiner allgemeinen Theorie

abgeleitet werden könne. Und solche Behauptungen seien prinzipiell unbeweisbar. Diese Argumentation hat zwar einiges für sich. Dennoch interessieren wir uns im allgemeinen nicht nur dafür, ob eine Eigenschaft  $F$  bezüglich einer bestimmten Theorie  $T$  emergent ist. Vielmehr wollen wir z.B. wissen, ob die Eigenschaften, die für Lebewesen charakteristisch sind, grundsätzlich auf die Eigenschaften von Zellen und deren Zusammenwirken zurückgeführt werden können. Trotz der Bedenken von Hempel und Oppenheim sind wir in der Regel also daran interessiert herauszufinden, ob bestimmte Phänomene im absoluten Sinne emergent sind oder nicht.

### Emergenz und Makrodetermination

Von vielen Autoren, die die These vertreten, es gebe emergente Eigenschaften, wird zugleich behauptet, diese Eigenschaften würden nicht nur durch die ihnen zugrundeliegenden Mikrostrukturen determiniert, sie würden auch ihrerseits diese Mikrostrukturen kausal beeinflussen. Unter dem Stichwort "downward causation" ist insbesondere die Auffassung Sperrys bekannt geworden, der zufolge schon bei einem einen Hülgel herabrollenden Rad festzustellen ist:

"... a wheel rolling downhill carries its atoms and molecules through a course in time and space and to a fate determined by the overall system properties of the wheel as a whole and regardless of the inclination of the individual atoms and molecules." (20, pp. 201).

In diesen Zusammenhang gehört auch das von Haken eingeführte Versklavungsprinzip in der Synergetik, das er an seinem Paradebeispiel, der kohärenten Lichtwelle des Lasers, wie folgt erläutert (die exakte mathematische Formulierung gibt Haken in 16, pp. 207-217):

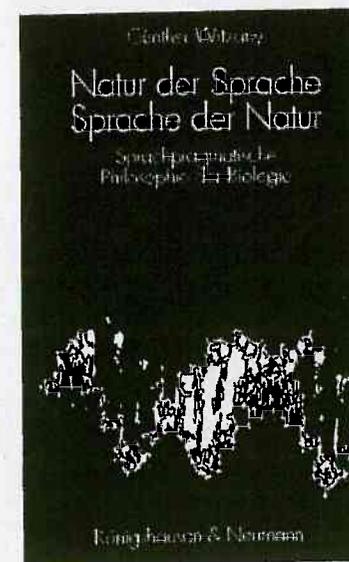
"Die zeitliche Ordnung der kohärenten Lichtwelle entsteht ohne Einfluß von außen her. Wie die eingehende mathematische Behandlung

## Zur Philosophie der Natur

GÜNTHER WITZANY  
**Natur der Sprache  
Sprache der Natur**  
Sprachpragmatische Philosophie der Biologie

250 Seiten, Broschur mit Fadenheftung  
DM 58,- / ISBN 3-88479-827-8

Eine interdisziplinäre Arbeit, die belebte Natur als sprachlich und kommunikativ strukturiert und organisiert begreift. So läßt sich ein Verstehen der belebten Natur philosophisch begründen. Dieses neue Verständnis von Natur könnte schließlich Ausgangspunkt für eine Verhältnisänderung des Menschen zur Natur sein, und damit einen Beitrag leisten zum rechtzeitigen Meistern der ökologischen Krise.



ZENO BUCHER  
**Die Abstammung des  
Menschen als  
Naturphilosophisches  
Problem**

Hrsg. von Günther Witzany

136 Seiten, Broschur mit Fadenheftung  
DM 29,80 / ISBN 3-88479-721-2

In diesem Band zeigt Zeno Bucher, daß sich moderne Naturphilosophie nicht in einer Vielzahl „exakter“ Wissenschaften auflösen läßt, sondern daß – im Gegenteil – eine zusammenschauende naturphilosophische Betrachtung wichtiger denn je ist, wenn es um die kritische Beurteilung und Interpretation der Fülle an Forschungsergebnissen geht.

Verlag Königshausen & Neumann  
Postfach 6007 – D-97010 Würzburg

## DAS STICHWORT

zeigt, findet hier eine Art zirkulärer Kausalität statt. Zum einen erzeugen die Elektronen durch ihre Übergänge [von inneren zu äußeren Bahnen] die Lichtwelle. Diese wirkt aber auf die Elektronen zurück und zwingt diese in ihren Takt. In der Fachsprache der Synergetik dient die Lichtwelle als Ordner, der die Bewegungen der einzelnen Elektronen versklavt" (17, S. 139).

Bei Vertretern der Idee der Makrodetermination bleibt häufig unklar, ob die kausale Wirkung der höheren Eigenschaften eines Systems auf seine Teile mit den auf der Ebene der Teile geltenden Gesetzen vereinbar ist oder ob sie in das Wirken dieser Gesetze eingreift (siehe bes. 2, Abschn. III, 1.2). Damit steht man jedoch vor einem Dilemma. Im Falle der Vereinbarkeit stellt sich die Frage, inwiefern hier wirklich sinnvoll von Makrodetermination gesprochen werden kann. Im Falle der Unvereinbarkeit dagegen bleibt völlig unklar, wie die Annahme, daß es Umstände gibt, in denen die für Atome und Moleküle geltenden allgemeinen Gesetze verletzt werden, mit unseren bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen in Einklang zu bringen ist. Eine auf ähnlichen Überlegungen beruhende grundsätzliche Kritik der Idee der Makrodetermination und eines Emergenzbegriffs, der Makrodetermination impliziert, legt Kim in 7, pp. 119-138 vor.

### Die aktuelle Situation

In den letzten Jahren entstand ein erneutes Interesse am Begriff der Emergenz vor allem in zwei Bereichen: der Philosophie des Geistes und der Theorie nichtlinearer komplexer Systeme.

In Metabetrachtungen zur Synergetik, Selbstorganisation und Chaosforschung dient der Begriff der Emergenz vor allem dazu, die wesentlich durch Selbstorganisations-Prozesse entstehenden Phänomene von herkömmlich erklärbar Systemeigenschaften abzugrenzen. Als emergent gelten dieje-

nigen Phänomene, die durch eine besondere selbstorganisierende Prozedur erklärt werden können, deren Auftreten jedoch nicht durch die Eigenschaften oder Reaktionen der beteiligten Elemente allein erklärt werden kann (vgl. dazu 8, S. 7-8 sowie die Beiträge von Roth, Teubner und Stadler/Kruse in 8). Ein so verstandener Emergenzbegriff ist jedoch mit der Reduzierbarkeit der Systemeigenschaften kompatibel (vgl. z.B. 21). In der Selbstorganisationsforschung scheint dem Emergenzbegriff außer der klassifizierenden Rolle eines Sammelbegriffs daher keine weitere systematische Funktion zuzukommen.

In der Philosophie des Geistes schienen in den 70er Jahren alle Versuche eines reduktiven Materialismus gescheitert. Hieraus ergab sich der Impuls, die Position des nichtreduktiven Materialismus präzise zu bestimmen. Das von Kim anvisierte Ziel, mit Hilfe des Supervenienzbegriffs eine Abhängigkeitsrelation zu formulieren, die stark genug ist, die Abhängigkeit des Mentalen vom Physischen zu garantieren, und schwach genug, nicht zugleich die Reduktion des Mentalen auf das Physische zu implizieren, erwies sich jedoch als unerreichbar (s. bes. 18 und 19). Dagegen erlaubt der von Beckermann in Anlehnung an Broad präzisierter Begriff der Emergenz, die Position des nichtreduktiven Physikalismus konsistent zu definieren. Als Gegenbegriff fungiert dabei der Begriff der Realisierung (vgl. hierzu 7, pp. 14-20):

In einem System  $S$  wird im Zeitraum  $T$  eine Makroeigenschaft  $F$  genau dann durch die Mikrostruktur  $G$  realisiert, wenn sich  $S$  im Zeitraum  $T$  in  $G$  befindet und wenn aus den allgemein geltenden Naturgesetzen abgeleitet werden kann, daß  $G$  im Zeitraum  $T$  alle für  $F$  charakteristischen Merkmale hat.

Die Makroeigenschaft  $F$  eines Systems  $S$  mit der Mikrostruktur  $G$  ist genau dann emergent, wenn es zwar (a) ein Gesetz gibt, demzufolge alle Systeme mit der Mikro-

## DAS STICHWORT

struktur  $G$  die Eigenschaft  $F$  haben, wenn aber (b) trotzdem nicht einmal im Prinzip aus den allgemein geltenden Naturgesetzen abgeleitet werden kann, daß Systeme mit der Mikrostruktur  $G$  alle Merkmale haben, die für die Eigenschaft  $F$  charakteristisch sind, d.h. wenn  $F$  nicht durch  $G$  realisiert ist.

Der nichtreduktive Materialismus behauptet demnach, daß zumindest einige mentale Eigenschaften emergent, d.h. nicht durch die Mikrostruktur des Trägers der mentalen Eigenschaften realisiert sind. Die Verwendung des Emergenzbegriffs zur Definition des nichtreduktiven Physikalismus beansprucht freilich nicht, das psychophysische Problem "gelöst" zu haben. Was sie allerdings leistet, ist, eine der wichtigsten Positionen in der Philosophie des Geistes klar und präzise zu formulieren.

### LITERATUR ZUM THEMA

Überblicke zur Geschichte und die verschiedenen Aspekte des Begriffs

1) Blitz, D.: Emergent Evolution - Qualitative Novelty and the Levels of Reality. *Episteme* vol. 19, 1992, Kluwer, Dordrecht.

2) Hoyningen-Huene, P.: Zu Emergenz, Mikro- und Makrodetermination, in: W. Libbe (Hg.), *Kausalität und Zurechnung*, 1994, Berlin/New York.

3) McLaughlin, B.: The Rise and Fall of British Emergentism, in 7, S. 49-93

4) Stephan, A.: Emergence - A Systematic View on its Historical Facets, in: 7, pp. 25-48.

5) Stöckler, M.: Emergenz - Bausteine einer Begriffsexplikation, in: *Conceptus* 24, 1990, pp. 7-24.

6) Stöckler, M.: A Short History of Emergence and Reductionism, in: Agazzi, E. (ed.): *The Problem of Reductionism in Science*, 1991, Dordrecht.

### Sammelbände

7) Beckermann, A., Flohr, H. and Kim, J. (eds.): *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Non-reductive Physicalism*. VII, 315 S., 1992, de Gruyter,

Berlin/New York.

8) Krohn, W. und Küppers, G. (Hrsg.): *Emergenz: Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung*. 240 S., Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 984, 1992, Suhrkamp, Frankfurt.

### Quellentexte

9) Alexander, S.: *Space, Time and Deity*. 2 vols., 1920, London.

10) Broad, C.D.: *The Mind and its Place in Nature*. 1925, London.

11) Hempel, C.G. and Oppenheim, P.: *Studies in the Logic of Explanation*, in: Hempel, C.G.: *Aspects of Scientific Explanation*, 1965, New York/London, Kap. 10. Teil II: On the Idea of Emergence.

12) Lewes, G.H.: *Problems of Life and Mind*. Vol. 2, 1875, London.

13) Mill, J.S.: *A System of Logic*, 1843, London.

14) Morgan, C. Lloyd: *Emergent Evolution*, 1923, London.

15) Nagel, E.: *The Structure of Science*, Kap. 11., pbk., £ 11.95, 1961, Hackett, New York.

### Literatur zu verwandten Themen

16) Haken, H.: *Synergetik. Eine Einführung. Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge und Selbstorganisation in Physik, Chemie und Biologie*. 3. erweiterte Auflage 1990, XIV, 396 S., Springer, Berlin/Heidelberg (zitiert wird nach der 2. Auflage 1983).

17) Haken, H.: Die Selbstorganisation der Information in biologischen Systemen aus der Sicht der Synergetik, in: Küppers, B.-O. (Hrsg.): *Ordnung aus dem Chaos*, 1987, München, pp. 127-156.

18) Kim, J.: *The Myth of Nonreductive Materialism. Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association* 63, pp. 31-47.

19) Kim, J.: Supervenience as a Philosophical Concept, in: *Metaphilosophy* 1, 1990, pp. 1-27.

20) Sperry, R.: Mind-Brain Interaction. Mentalism: Yes, Dualism: No, in: *Neuroscience* 5, 1980, 195-206.

21) Stöckler, M.: Reductionism and the New Theories of Self-Organization, in: Schurz, G. and Dom, G.J.W.: *Advances in Scientific Philosophy*, 1991, Amsterdam, pp. 233-254.