

Komplexe Systeme, Emergenz und die Grenzen des Physikalismus

Barbara Drossel

Abstract: *Complex Systems, Emergence and the Limits of Physicalism*: Drossel discusses the concepts of weak and strong emergence in a variety of different research areas and opts for the latter as most fitting to the phenomena. Strong emergence, however, must also be redefined because the given examples show that a whole does not simply consist of its parts, but that the parts themselves are emergent in their contexts relationally and therefore reciprocally influenced by them. The article closes with a discussion of the philosophical options traditionally employed for resolution of the mind-body problem by first arguing against several of the reductionist options (mind as epiphenomenon, compatibilism, interventionalism) and second for several options based on strong emergence (atheistic dual aspect monism, pantheism, theistic monism, strong emergence as compatible with the immortal soul).

Hat die Physik zu dem Thema „Gibt es eine Seele?“ etwas zu sagen? Eigentlich nicht, denn die Physik befasst sich mit den Gesetzmäßigkeiten in den materiellen Prozessen in der Welt. Zu den Dingen, die sich nicht mit den Methoden der Physik fassen lassen, kann die Physik nichts sagen. Aber trotzdem kommt es immer wieder vor, dass aus der Physik Schlussfolgerungen über die (Nicht-)Existenz Gottes oder des freien Willens oder der Seele gezogen werden. In der Diskussion über diese Themen zeigt sich, dass viele Leute von Weltbildern geprägt sind, die sie meinen, der Physik entnehmen zu können. Oft wird der Eindruck vermittelt, dass sich letztlich alles auf die Bewegung von Atomen und Molekülen zurückführen lässt, d.h. dass im Grunde alles Geschehen vollständig durch fundamentale physikalische Gesetze bestimmt wird. Im Folgenden werde ich argumentieren, dass dem nicht so ist. Diese Überlegungen gingen aus dem Nachdenken über mein Forschungsgebiet, die Theorie komplexer Systeme, hervor. Anhand der Eigenschaften komplexer Systeme wird deutlich, dass sich nicht alles auf die fundamentalen physikalischen Gesetze reduzieren lässt. Diese Argumente sind überwiegend wissenschaftsphilosophischer Art.

1. Komplexe Systeme

Zunächst sollen die zentralen Begriffe „komplexe Systeme“ und „Emergenz“ dieses Beitrags geklärt werden: Wenn Sie zehn verschiedene Leute fragen, was sie unter einem komplexen System verstehen, bekommen Sie zehn verschiedene Antworten.

1 Auch ich definiere komplexe Systeme in verschiedenen Zusammenhängen
2 unterschiedlich. Hier möchte ich komplexe Systeme sehr breit definieren: Komplexe
3 Systeme bestehen aus vielen Teilen, die miteinander wechselwirken und dadurch das
4 Ganze bilden.

5 Das einfachste Beispiel ist ein Gas in einer Kammer, das aus vielen Atomen besteht,
6 die miteinander und mit den Wänden zusammenstoßen. Ein weiteres Beispiel ist ein
7 kristalliner Festkörper, bei dem Atome in einer regelmäßigen Struktur angeordnet sind.
8 Diese beiden Sorten von Systemen sind sogenannte Gleichgewichtssysteme: Sie
9 bleiben so, wie sie sind, wenn man sie von ihrer Umwelt isoliert. „Offene“ Systeme,
10 die mit ihrer Umgebung Energie oder Materie austauschen, können komplizierteres
11 Verhalten zeigen und z.B. Muster ausbilden.

12 Ein klassisches Beispiel für Musterbildung ist die Rayleigh-Bénard-Konvektion:
13 Wenn man einen Behälter, der eine Flüssigkeitsschicht enthält, von unten beheizt,
14 bilden sich Konvektionsrollen aus, die sich je nach Form des Behälters und je nach
15 Temperaturgradient verschieden anordnen. Innerhalb der Konvektionsrollen steigt die
16 warme Flüssigkeit an der einen Seite auf, und an der anderen Seite sinkt die
17 abgekühlte Flüssigkeit wieder nach unten.

18 Die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion ist ein weiteres faszinierendes Beispiel für
19 Musterbildung. Dies ist eine chemische Reaktion, bei der sich Oszillationen zwischen
20 drei verschiedenen Substanzen ausbilden, die durch ihre Farbe unterscheidbar sind.
21 Diese Oszillationen laufen wellenförmig durch den Behälter, z.B. in Gestalt einer
22 Spirale. Damit die Reaktion nicht nach einiger Zeit aufhört, muss man immer wieder
23 die reagierenden Substanzen zuführen und die Reaktionsprodukte abführen.

24 Biologische Systeme sind Systeme von besonders großer Komplexität. Beispiele
25 sind Zellen mit ihren vielen verschiedenen Organellen und Makromolekülen, und
26 Gehirne mit ihrem neuronalen Netzwerk. Letztere sind für das Thema dieses Beitrags
27 wohl am relevantesten.

28 Auch die menschliche Gesellschaft hat viele komplexe Systeme hervorgebracht,
29 wie zum Beispiel den Verkehr, der aus vielen Autos besteht, oder Städte, die durch
30 ihre Einwohner gebildet werden. Gewisse Eigenschaften all dieser Systeme werden
31 übrigens auch von Physikern untersucht und modelliert.

32

2. Emergenz

33 Ebenso wie für die komplexen Systeme gibt es auch für Emergenz verschiedene
34 Definitionen. Ich möchte Emergenz zunächst sehr allgemein definieren. Emergenz
35 bedeutet, dass das Ganze – bzw. das System – Eigenschaften hat, die die Teile nicht
36 haben. Diese sind sogenannte *emergente* Eigenschaften.

37 Das Gas aus dem vorigen Abschnitt hat die emergenten Eigenschaften Druck und
38 Temperatur. Dies sind keine Eigenschaften von einzelnen Atomen oder Molekülen.
39 Ein Festkörper hat z.B. eine thermische Leitfähigkeit und eine Kompressibilität.
40 Vielleicht hat er auch eine elektrische Leitfähigkeit oder eine Magnetisierung. Dies

1 sind wieder keine Eigenschaften, die die einzelnen Atome haben. Die Muster der
2 musterbildenden Systeme sind ebenfalls emergent und treten auf einer Längenskala
3 auf, die sehr viel größer ist, als der Abstand zwischen den Atomen. Das
4 Zusammenwirken der Atome und ihrer Umgebung führt also zu Effekten weit jenseits
5 der atomaren Skala. Eine Zelle hat als emergente Eigenschaften z.B. den
6 Metabolismus, oder eine Funktion. Sie gehört einem Zelltypen an, ist also eine
7 Leberzelle oder eine Nervenzelle. Auch dies sind keine Eigenschaften, die die
8 einzelnen Zellbestandteile haben. Das Konzept einer Funktion gibt es nur in belebten
9 Systemen. Das Gehirn hat Bewusstsein als emergente Eigenschaft. Um das
10 Bewusstsein geht es beim Thema „Seele“ ein Stück weit. Ich möchte aber betonen, in
11 Anlehnung an Thomas Fuchs, dessen Buch „Das Gehirn – ein Beziehungsorgan“ ich
12 sehr schätze, dass das Bewusstsein mehr braucht als ein Gehirn. Bewusstsein ist die
13 Eigenschaft einer ganzen Person und nicht nur der neuronalen Masse. Verkehr hat als
14 emergente Eigenschaft z.B. die Staubbildung oder das tägliche und wöchentliche
15 Verkehrsaufkommen. Eine Stadt kann z.B. Marktrechte haben. Auch dies ist etwas,
16 das der Ort als Ganzes hat und nicht die einzelnen Einwohner.

17 3. Reduktion und die Hierarchie der Wissenschaften

18 Wie gehen Naturwissenschaftler das Thema Emergenz an? Sie zerlegen das System in
19 seine Teile und untersuchen die Eigenschaften der Teile. Sie bestimmen, welche
20 Kräfte die Teile aufeinander ausüben und versuchen, das Ganze aus den Eigenschaften
21 der Teile und dem Zusammenwirken der Teile zu verstehen. Mit dieser
22 Vorgehensweise ist insbesondere die Physik unglaublich erfolgreich. In meiner
23 Forschung verfare ich ebenfalls auf diese Weise, wenn ich ein komplexes System
24 modelliere: Ich beschreibe das System durch seine Teile und durch Regeln, nach
25 denen diese Teile miteinander interagieren. Dann ermittle ich durch eine Rechnung
26 oder eine Computersimulation, ob daraus die emergente Eigenschaft, die ich verstehen
27 will, resultieren kann. Die Naturwissenschaften arbeiten also mit großem Erfolg
28 reduktionistisch, indem sie das Ganze auf die Teile und ihre Interaktionen
29 zurückführen.

30 Dieses Zerlegen eines Systems in seine Bestandteile kann man nun auch für die
31 Teile wiederholen. Zum Beispiel kann man eine Zelle in Moleküle zerlegen, die
32 Moleküle in Atome, und die Atome in Elementarteilchen. So steigt man über
33 Reduktion immer weiter hinunter in der Komplexitätshierarchie, bis man auf dem
34 vermeintlich fundamentalsten Level, den Elementarteilchen angelangt ist. Wenn man
35 umgekehrt von unten nach oben geht, kommt man zu immer komplexeren Gebilden.
36 Gleichzeitig bewegt man sich durch verschiedene Wissenschaften, die jeweils die
37 Objekte auf den verschiedenen Hierarchiestufen beschreiben: Die Elementarteilchen
38 und Atome werden durch die Quantenphysik beschrieben, die Moleküle durch die
39 Chemie, Zellen und Gehirne durch die Biologie, Menschen durch die Psychologie und
40 Gesellschaften durch die Soziologie.

1 Man kann beim Aufsteigen in dieser Hierarchie aber auch andere Abzweigungen
2 nehmen. Wenn man innerhalb der Physik bleibt, kann man von den Elementarteilchen
3 über Atome und Steine und Planeten und Galaxien aufsteigen bis zur Kosmologie.
4 Oder wenn man in der Biologie bleibt, kann von Zellen zu Organen, zu Individuen, zu
5 Population, zu Ökosystemen und schließlich zur gesamten Biosphäre gehen.

6 Wir haben allen Grund anzunehmen, dass die Gesetze, die auf einer unteren Ebene
7 gelten, auch dann noch gültig sind, wenn eine höhere Ebene betrachtet wird.

8 Wenn man z.B. Prozesse in der biologischen Zelle modelliert, geht man davon aus,
9 dass die kleinen Moleküle in der Zellflüssigkeit diffundieren. Das Diffusionsgesetz aus
10 der Physik, das für die unbelebte Materie aufgestellt wurde, gilt auch in biologischen
11 Systemen. Ebenso benutzt man bei der Beschreibung der Prozesse in der Zelle die
12 Gesetze der Chemie. Die Reaktionen, die beim Aufbau und Abbau von Biomolekülen
13 in der Zelle stattfinden, werden auf die in der Chemie bekannte Weise mathematisch
14 modelliert. Man bestimmt Energiebarrieren, Reaktionsenthalpien und
15 Gleichgewichtskonzentrationen.

16 Aber gleichzeitig gibt es auf den höheren Ebenen neue Konzepte und Gesetze, die
17 diesen Ebenen und den sie beschreibenden Wissenschaften eigen sind.

18 In der Biologie reden wir von Stoffwechsel und von Spezies. Das sind Konzepte,
19 die es in der Elementarteilchenphysik nicht gibt. Ein Beispiel für ein Gesetz aus der
20 Biologie ist, dass die Zahl der Arten, die in einem geographischen Gebiet leben, mit
21 einer bestimmten Potenz der Größe dieses Gebietes anwächst. Konzepte, die erst auf
22 der Ebene der Psychologie auftreten, sind z.B. ein Minderwertigkeitskomplex oder
23 eine Essstörung.

24 Die jeder Ebene eigenen Konzepte und Gesetzmäßigkeiten zeigen, dass die höheren
25 Ebenen eine gewisse Eigenständigkeit gegenüber den unteren Ebenen haben.

26 4. Schwache versus starke Emergenz

27 Damit ergibt sich die zentrale Frage dieses Beitrags: Ist die Reduktion auf die
28 niedrigere Komplexitätsstufe, die man in der Naturwissenschaft sehr erfolgreich
29 durchführt, vollständig? Kann man letztlich, zumindest im Prinzip, oder in Zukunft mit
30 einem Supercomputer, alles auf die Physik und schließlich auf die Elementarteilchen
31 und die vier grundlegenden Wechselwirkungen zurückführen? Dann wäre die
32 Emergenz, die man jeweils sieht, wenn man von einer Ebene zur anderen geht, eine
33 sogenannte *schwache Emergenz*. Die Eigenschaften des ganzen Systems sind für uns
34 vielleicht überraschend oder nicht einfach durchschaubar, aber letztlich doch
35 vollständig bewirkt durch die Eigenschaften der Bestandteile und beschrieben durch
36 die Gesetze auf der niedrigeren Ebene.

37 Oder ist die Reduktion, so erfolgreich sie ist, nicht vollständig und nicht exakt?
38 Funktioniert sie nur näherungsweise und nur zum Teil? Verwendet man
39 Zusatzannahmen, die nicht Bestandteil der Gesetze der niedrigeren Ebene sind? Dann
40 würde beim Übergang zur nächsten Ebene etwas wirklich Neues auftreten, das sich

1 nicht vollständig zurückführen lässt auf die unteren Ebenen. In diesem Fall spricht
2 man von *starker Emergenz*.

3 5. Die Position des Reduktionismus

4 Es gibt viele Physiker, insbesondere Elementarteilchenphysiker, die der Auffassung
5 sind, dass letztlich die Teilchenphysik, d.h. die Quantenfeldtheorie, die fundamentale
6 Theorie ist, die alles erfasst, was in der Welt passiert.

7 Der theoretische Physiker Steven Weinberg vertritt diese Position. Er erhielt 1979
8 den Nobelpreis für die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung, d.h. für die
9 Vereinheitlichung des Elektromagnetismus mit der sogenannten schwachen Kernkraft.
10 Diese Theorie war unglaublich erfolgreich. Sie sagte die Existenz neuer Teilchen
11 vorher, der Z- und W-Bosonen, die man dann später tatsächlich entdeckt hat. Auch das
12 Higgs-Boson ist Bestandteil dieser Theorie und es wurde vor Kurzem ebenfalls am
13 CERN nachgewiesen. Ein weiterer Erfolg der Elementarteilchenphysik war die
14 Vorhersage des Top-Quarks.

15 Diese Erfolge führen dazu, dass man glaubt, man könne eines Tages eine endgültige
16 Theorie für die letzten Naturgesetze finden. Man träumt von einer vereinheitlichenden
17 Theorie, die alle Elementarteilchen umfasst und die Kräfte, die zwischen ihnen wirken.
18 Es gibt vier Arten von elementaren Kräften: Gravitation, schwache und starke
19 Wechselwirkung (diese beiden wirken auf atomarer Skala und sind bei Radioaktivität
20 und Kernreaktionen wichtig), sowie die elektromagnetische Wechselwirkung. Eine
21 Theorie, die diese vier Kräfte und alle Elementarteilchen umfasst, würde festlegen, wie
22 sich alle Teilchen unter dem Einfluss der Kräfte bewegen und würde deshalb im
23 Prinzip alles Geschehen in dieser materiellen Welt beschreiben. Im Buch „Dreams of a
24 Final Theory“ von Steven Weinberg wird von diesem Traum berichtet. Interessant ist,
25 dass er aus dem Glauben an diese letztgültige, grundlegende Theorie weltanschauliche
26 Konsequenzen zieht: „Je begreiflicher uns das Universum wird, desto sinnloser
27 erscheint es uns auch.“¹ In der Tat: Wenn die fundamentale Realität nur aus den
28 Elementarteilchen und den Kräften zwischen ihnen besteht, und wenn diese Realität
29 alles andere irgendwie beinhaltet, dann scheint alles ziemlich sinnlos.

30 Nicht nur in der Physik, sondern auch in der Biologie gibt es solche
31 reduktionistischen Positionen. Der bekannteste Vertreter des Reduktionismus in der
32 Biologie ist Richard Dawkins. Seine genzentrierte Sicht, wie er sie z.B. in dem Buch
33 „The Selfish Gene“ dargelegt hat, ist weithin bekannt. Er schreibt im Vorwort dieses
34 Buchs:

35 „Wir sind Überlebensmaschinen – Roboter, blind programmiert zur Erhaltung der selbstsüchtigen
36 Moleküle, die Gene genannt werden. Diese Wahrheit füllt mich immer noch mit Staunen.“²

¹ WEINBERG, STEVEN, Die ersten drei Minuten. München 1997.

² DAWKINS, RICHARD, Das egoistische Gen. Heidelberg 2007.

1 Das bedeutet, dass wir Menschen letztlich nur Überlebensmaschinen für Gene sind.
2 Unsere Gene sind die fundamentalere Realität. Sie interagieren, um uns zu produzieren.
3 Die biologischen Arten sind durch die Selektion von Genen entstanden. Ebenso wie
4 Steven Weinberg zieht auch Richard Dawkins weltanschauliche Schlussfolgerungen
5 aus seiner reduktionistischen Sicht der Natur. Seine atheistische, materialistische
6 Überzeugung ist weithin bekannt.

7 6. Emergenz innerhalb der Physik

8 Es gibt eine Reihe von Wissenschaftlern und Philosophen, die den Reduktionismus
9 weitgehend akzeptiert haben und starke Emergenz bestenfalls noch für das
10 Bewusstsein für möglich halten. Doch ich meine, dass starke Emergenz, wenn es sie
11 überhaupt gibt, ein grundlegender Zug der Natur auf allen Ebenen sein sollte.
12 Insbesondere sollte sie auch schon innerhalb der Physik auftreten. Daher möchte ich
13 im Folgenden der Frage nachgehen, ob man in den recht „einfachen“ physikalischen
14 Systemen der Festkörperphysik tatsächlich die vollständige Reduktion auf die
15 vermeintlich grundlegende Theorie, die Quantenphysik, durchführen kann. Zu diesem
16 Zweck sollen drei Nobelpreisträger aus dem Gebiet der Festkörperphysik zu Wort
17 kommen: Philip W. Anderson, Robert Laughlin und Antony Leggett.
18 Festkörperphysiker mögen es natürlich gar nicht, wenn die Teilchenphysiker
19 behaupten, ihre Physik sei fundamentaler und wichtiger als die Festkörperphysik. Die
20 Forschungspraxis der Festkörperphysik ist in der Tat weit davon entfernt, eine
21 schlichte Anwendung der quantenmechanischen Beschreibung von Elementarteilchen
22 zu sein.

23 In seinem vielzitierten Artikel „More Is Different“ von 1972 schrieb Phil Anderson:
24 „Die Fähigkeit, alles auf einfache grundlegende Gesetze zu reduzieren, bedeutet nicht, dass man
25 ausgehend von diesen Gesetzen das Universum nachbauen kann.“³

26 In der Tat kann man aus der Quantenfeldtheorie zum Beispiel nicht vorhersagen,
27 dass es Elefanten gibt. Anderson argumentiert, dass das Ganze wesentlich verschieden
28 ist von den Teilen. Allerdings ist aus seinen Aussagen in diesem Artikel nicht leicht
29 ersichtlich, ob er schwache oder starke Emergenz vertritt. Im ersten Satz des Artikels
30 schreibt er:

31 „Die Hypothese des Reduktionismus wird vielleicht noch unter Philosophen diskutiert, aber die
32 meisten aktiven Naturwissenschaftler haben sie akzeptiert.“

33 Das klingt so, als würden nur ein paar Exoten unter den forschenden
34 Naturwissenschaftlern bezweifeln, dass die grundlegenden quantenmechanischen
35 Gesetze alles Geschehen umfassen. Im weiteren Verlauf des Artikels erklärt er dann,
36 warum in der Praxis die Beschreibung komplexer Systeme durch die grundlegende

³ ANDERSON, PHILIP W., More is Different, Science 177, 1972, 393—396 (Übers. d. Vf.).

1 Physik nicht möglich ist: Auf jeder Komplexitätsstufe entstehen völlig neue
2 Eigenschaften und um diese zu verstehen brauchen wir eine Forschung, die genauso
3 fundamental ist wie die Teilchenphysikforschung. Der Grund für das Entstehen der
4 neuen Eigenschaften auf neuen Komplexitätsstufen ist nach seinen Aussagen
5 *Symmetriebrechung*, d.h. die spezifische Anordnung von Atomen. Wenn wir die
6 Kräfte zwischen den Atomen kennen, wissen wir noch nicht, wie sie konkret
7 angeordnet sind. Wie sie sich konkret anordnen, bestimmt aber vieles Weitere.

8 Andersons einfachstes Beispiel ist das NH_3 -Molekül (Ammoniak). Es hat ein
9 Stickstoff- und drei Wasserstoffatome und es bildet eine Pyramide. In der
10 Quantenmechanik ist das Molekül keine Pyramide. Da befindet sich das
11 Stickstoffatom mit gleicher Häufigkeit bzw. mit gleichem Anteil auf beiden Seiten des
12 Dreiecks, das von den Wasserstoffatomen aufgespannt wird. Das Ausbilden einer
13 Pyramide ist eine Symmetriebrechung. Das Ammoniak-Molekül ist so klein, dass es
14 sehr oft zwischen den beiden Pyramiden hin- und herflippert. Aber bei einem größeren
15 Molekül wie z.B. Zucker passiert das nicht mehr. Es gibt Zuckersorten, die haben
16 exakt dieselbe chemische Formel, aber verschiedene Anordnungen, z.B. Mannose und
17 Glukose, die beide die Formel $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ haben. Ein weiteres wichtiges Beispiel ist die
18 DNA, unser menschliches Erbgut. Es ist eine ganz spezifische Sequenz aus den vier
19 Nukleotiden. Im Prinzip könnte man sich auch andere Anordnungen vorstellen, aber
20 die jeweilige spezielle Anordnung hat einen zentralen Einfluss auf die Eigenschaften
21 von Lebewesen. Zu welcher von mehreren möglichen Anordnungen von Atomen eine
22 Symmetriebrechung führt, können wir nicht aus der Wechselwirkung der Atome
23 vorhersagen.

24 Symmetriebrechung ist also ein allgemeines Prinzip, das für die Eigenschaften
25 komplexer Systeme wichtig ist. Die Bedeutung von solchen Prinzipien in der
26 physikalischen Forschung wird von Robert Laughlin stark betont. In seinem Buch „A
27 Different Universe“ kommt das Wort Emergenz sehr oft vor. Er argumentiert ähnlich
28 wie Anderson, dass sich die Theorien der Festkörperphysik in der Praxis nicht aus den
29 fundamentalen quantenmechanischen Theorien ableiten lassen. In seinem im Jahr 2000
30 zusammen mit David Pines veröffentlichten Artikel mit dem Titel „The Theory of
31 Everything“ führt er seine Argumente kompakter aus, als in dem Buch.⁴

32 Die fundamentale Theorie, die die Atome beschreibt, aus denen Festkörper, aber
33 auch biologische Systeme zusammengesetzt sind, ist die nichtrelativistische
34 Quantenmechanik, deren Grundgleichung die Schrödingergleichung ist. Sie beschreibt,
35 wie die vielen Atomkerne und Elektronen eines ausgedehnten Objekts durch die
36 elektromagnetischen Kräfte miteinander interagieren und aus ihr lässt sich im Prinzip
37 berechnen, wie sich das System mit der Zeit entwickelt.

38 Für unsere Alltagswelt ist also die Schrödingergleichung die „Theory of
39 Everything“. Aber Laughlin schreibt genau wie Anderson, dass wir in der Praxis nicht
40 von dieser Gleichung starten können und die Theorie der Objekte daraus herleiten

⁴ LAUGHLIN, ROBERT/PINES, DAVID, The Theory of Everything, Proceedings of the National Academy of Sciences 97, 2000, 28–31.

1 können. Stattdessen verwenden wir allgemeine Prinzipien. Laughlin nennt sie „Higher
2 Order Principles“, also *Höhere Ordnungs-Prinzipien*.

3 Als Beispiele erwähnt er u.a. den Quanten-Hall-Effekt und die Supraleitung. Erst
4 als Wissenschaftler die richtige Idee hatten, welches Prinzip für diese Effekte
5 verantwortlich ist, konnten sie die zutreffende Theorie entwickeln. Auch bei diesen
6 Theorien wird die Quantenmechanik verwendet. Aber es ist nicht die
7 Quantenmechanik für alle 10^{23} Teilchen des Systems, sondern eine effektive Theorie
8 für das jeweils wichtige Phänomen. Bei der Supraleitung und dem Quanten-Hall-
9 Effekt besteht diese Theorie in einem geeigneten Ansatz für die Leitungselektronen.
10 Besonders anschaulich zu erklären ist die Theorie für das Eindringen eines
11 Magnetfelds in einen sogenannten Supraleiter zweiter Art. Wenn man von außen ein
12 genügend starkes Magnetfeld anlegt, geht es in Form von Flussschläuchen durch den
13 Supraleiter hindurch. Jeder dieser Flussschläuche trägt einen genau bestimmbar
14 magnetischen Fluss. Wie groß dieser Fluss ist, ist aus einem einfachen Prinzip
15 ableitbar: Wenn man einmal um den Fluss Schlauch herumgeht, muss die
16 Wellenfunktion der supraleitenden Elektronen ihre Phase um ein Vielfaches von 2π
17 ändern. Diese Bedingung ist nur erfüllt, wenn der magnetische Fluss ein Vielfaches
18 des sogenannten „Flussquants“ ist.

19 Aufgrund dieses und ähnlicher Prinzipien kann man durch
20 Festkörperphysikexperimente die Naturkonstanten, die in der mikroskopischen
21 Theorie, also in der Schrödingergleichung auftreten, extrem genau messen. Dies ist
22 erstaunlich: Der Festkörper, in dem man diese Messung macht, hat keine perfekte
23 Anordnung der Atome und man weiß auch gar nicht im Detail, wo Defekte und
24 Korngrenzen sind. Außerdem gibt es thermisches Rauschen, weil die Temperatur nicht
25 bei null Kelvin liegt. Trotzdem kann man diesen theoretisch nicht im Detail
26 beschreibbaren Festkörper benutzen, um extrem genau die Werte grundlegender
27 physikalischer Konstanten zu messen. Der Grund hierfür ist, dass all diese Details (z.B.
28 welches Atom wo genau sitzt) gar nicht wichtig sind für die Anwendung der
29 allgemeinen Prinzipien, aus denen man die Schlussfolgerungen ziehen kann. Das heißt,
30 mikroskopische Details sind zum Teil völlig irrelevant für die Anwendung der
31 Ordnungsprinzipien und die Entwicklung der Theorien in der Festkörperphysik. Auch,
32 wenn nach Laughlins Meinung im Prinzip alles aus der Schrödingergleichung für die
33 10^{23} Teilchen des Systems folgt, wird in der Praxis nicht mit der vollen
34 Schrödingergleichung, sondern mit allgemeinen Prinzipien argumentiert.

35 Dieses Vorgehen wird sehr treffend von Anthony Leggett beschrieben. Das
36 folgende Zitat stammt aus einem Vortrag, den er auf einer Tagung zum 80. Geburtstag
37 von Karl Popper hielt:

38 „Kein bedeutender Fortschritt in der Theorie kondensierter Materie wurde jemals durch
39 Herleitung aus mikroskopischen Prinzipien erzielt. [...] Die sogenannten Herleitungen [...] allein
40 aus mikroskopischen Prinzipien sind Mogelpackungen. Die wichtigen Fortschritte [...] kamen im

1 Wesentlichen durch die Konstruktion von Modellen auf der meso- oder makroskopischen Ebene,
2 und diese sind logisch (und psychologisch) unabhängig von der Mikrophysik.“⁵

3 Leggett geht in diesem Artikel sogar noch weiter. Bei Anderson und Laughlin hat
4 man den Eindruck, dass sie meinen, dass die Quantenmechanik alle Phänomene
5 umfasst, die die Festkörperphysiker beschreiben, aber dass die Herleitungen nur in der
6 Praxis nicht durchführbar sind. Leggett weist dagegen auf das grundlegende Problem
7 in der Quantenmechanik, den Messprozess, hin. Bei einer Messung wird ein Teilchen,
8 das in der Quantenmechanik durch eine ausgedehnte Welle beschrieben wird, an einer
9 gewissen Stelle lokalisiert. Vorher ist das Teilchen sozusagen an allen Orten der
10 Wellenfunktion gleichzeitig. Dieser „Kollaps“ der Wellenfunktion auf einen Ort lässt
11 sich nicht durch die Schrödingergleichung beschreiben. Es gibt also einen
12 intrinsischen Widerspruch in der Quantenmechanik.

13 Etwas Analoges passiert bei dem sprichwörtlichen Gedankenexperiment mit
14 „Schrödingers Katze“: Hier wird eine Katze zusammen mit einer Tötungsvorrichtung
15 in einer Kiste eingesperrt. Die Vorrichtung wird dadurch ausgelöst, dass ein Atom
16 einer radioaktiven Substanz zerfällt. Die Katze ist quasi das „Messgerät“, das den
17 Zerfall des Atoms nachweist. Ist die Katze tot, ist das Atom zerfallen; ist die Katze
18 noch lebendig, ist das Atom noch nicht zerfallen. Wenn dieser Vorgang mit der
19 Schrödingergleichung beschrieben wird, ist die Katze nach gewisser Zeit in einem
20 Überlagerungszustand aus „tot“ und „lebendig“. Aber in Wirklichkeit ist die Katze
21 eindeutig tot oder eindeutig lebendig, genau wie bei einer Positionsmessung das
22 Teilchen eindeutig hier oder eindeutig dort gemessen wurde.

23 Leggett betont, dass dies bedeutet, dass in der grundlegenden Physik ein Bruch
24 besteht, der dazu führt, dass die klassische Physik sich nicht vollständig auf die
25 Schrödingergleichung reduzieren lässt. Er wendet sich hiermit gegen eine
26 reduktionistische Sichtweise. Die erwähnten „Messgeräte“, die makroskopische,
27 ausgedehnte Objekte mit einer von Null verschiedenen Temperatur sind, sind
28 gegenüber den Atomen also stark emergent.

29 Analoge Diskussionen gibt es übrigens auch in der Thermodynamik. Hier geht es
30 um die Frage, ob sich der zweite Hauptsatz der Thermodynamik auf die
31 Quantenmechanik und auf eine Schrödingergleichung, die alle Atome des Systems
32 beschreibt, zurückführen lässt. Dieser Satz, den man auch den Entropiesatz nennt,
33 besagt, dass in einem abgeschlossenen System die Entropie nicht abnehmen kann,
34 sondern zunimmt, bis sie den für dieses System maximal möglichen Wert erreicht hat.

35 Oberflächlich gesprochen kann man Entropie als Unordnung anschaulich machen.
36 Wenn man zwei verschiedene Flüssigkeiten, z.B. Milch und Kaffee,
37 zusammenschüttet, entsteht quasi eine maximale Unordnung zwischen den Milch- und
38 Kaffeebestandteilen, d.h. beide vermischen sich. Dieses Mischen ist ebenso wie der
39 Messprozess ein irreversibler und zufälliger Vorgang, der nicht durch die (reversible,
40 deterministische) Schrödingergleichung erfasst werden kann.

⁵ LEGGETT, ANTONY, On the Nature of Research in Condensed-state Physics, in Foundations of Physics 22, 1992, 221–230 (Übers. D. Verf.).

1 Es gibt zwar viele Wissenschaftler, die meinen, dass sowohl der
2 quantenmechanische Messprozess als auch der zweite Hauptsatz der Thermodynamik
3 mit der Schrödingergleichung vereinbart werden können, doch bei diesen Argumenten
4 werden immer Zusatzannahmen gemacht.

5 Also ist die vollständige Reduktion selbst innerhalb der Physik nicht möglich.
6 Natürlich gibt es eine teilweise Reduktion. Wir benutzen viele Konzepte der
7 Quantenphysik, um Festkörper zu beschreiben. Aber wir schreiben nie eine Gleichung
8 für alle 10^{23} Teilchen nieder. Wir machen plausible Annahmen über das System und
9 erstellen daraus effektive Theorien. Aber das ist nicht die vollständige Zurückführung
10 auf die mikroskopische Beschreibung. Es ist eine Zurückführung auf allgemeine
11 Ordnungsprinzipien.

12 Zuletzt möchte ich noch den bekannten Kosmologen George Ellis zitieren. Er hat
13 mit Stephen Hawking zusammen ein Buch über Kosmologie geschrieben. Er hat den
14 Templeton-Preis bekommen, der sogar noch höher dotiert ist als der Nobelpreis und
15 für wichtige Beiträge an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Religion
16 vergeben wird. Er schrieb in einem Beitrag in der Zeitschrift Nature vor einigen Jahren
17 folgendes:

18 „Die höheren Ebenen in der Komplexitätshierarchie haben autonome kausale Fähigkeiten, die in
19 ihrer Wirkung unabhängig von den darunterliegenden Prozessen sind. Abwärts-Verursachung tritt
20 ebenso auf wie Aufwärts-Verursachung, wobei der größere Kontext die Funktion der unteren
21 Ebene bestimmt und ihre Bausteine modifiziert.“⁶

22 Dies sind eindeutige Aussagen zugunsten der starken Emergenz. Was auf der
23 höheren Ebene passiert, ist zum Teil unabhängig von den darunter liegenden Prozessen,
24 hat sogar eine kausale Auswirkung auf die unteren Ebenen. Er fährt fort:

25 „Physik allein kann adaptives und kontext-abhängiges Verhalten nicht erklären, z.B. das Bauen
26 von Biberdämmen oder den Bientanz. Es scheint plausibel, dass diese zu späterer Zeit im
27 expandierenden Universum emergiert sind, und zwar als autonomes Verhalten auf der höheren
28 Ebene, ermöglicht, aber nicht kausal bestimmt durch die Gesetze der Physik und Chemie.“

29 Dieses „ermöglicht, aber nicht kausal bestimmt durch die Gesetze der Physik und
30 Chemie“ ist ein Schlüsselsatz. Ohne die Physik und die Chemie, ohne die Atome wäre
31 natürlich nichts da. Die Materiebausteine ermöglichen alles andere, auch unser
32 Bewusstsein und unsere Emotionen, aber diese sind nicht vollständig kausal bestimmt
33 von der Physik und Chemie.

34 7. Bedingungen für eine vollständige Reduzierbarkeit

35 Aus den genannten Zitaten wird ersichtlich, dass die Reduktion selbst innerhalb der
36 Physik in der Praxis immer nur teilweise durchgeführt wird und nicht vollständig ist.
37 In der Praxis verwendet man Näherungen und phänomenologische Theorien, also

⁶ ELLIS, GEORGE, Physics, Complexity and Causality, Nature 435, 2005, 743. (Übers. D. Verf.).

1 Theorien, die nicht von den kleinsten Teilchen starten, sondern von passenden,
2 zweckmäßigen Einheiten. Man baut ein Modell, das das enthält, was man für wichtig
3 hält für das betrachtete Phänomen, aber kein exaktes Abbild von allen Atomen ist.
4 Man verwendet Symmetrieüberlegungen und allgemeine Prinzipien, die erwähnten
5 höheren Ordnungs-Prinzipien.

6 Ich möchte hier noch einige weitere Gedanken anschließen und fragen, was nötig
7 wäre, d.h. von welcher Beschaffenheit die grundlegenden Theorien sein müssten,
8 damit sie im Prinzip alles erfassen würden und somit zumindest im Prinzip eine
9 vollständige Reduktion möglich wäre. Die Bedingungen, die erfüllt sein müssten, sind
10 sehr stark, auch wenn man sie selten so deutlich ausspricht. Vollständige Reduktion
11 wäre nur möglich, wenn die vermeintlich grundlegenden Theorien exakt wären. Wenn
12 sie nur Näherungen sind, haben wir keine Garantie, dass die Theorie noch ausreichend
13 genau ist, wenn sehr viele Teilchen zusammenkommen, so dass sie die relevanten
14 Phänomene korrekt erfasst. Mit zunehmender Teilchenzahl schaukeln sich die
15 Unexaktheiten weiter hoch, so dass die Theorie irgendwann gar nicht mehr passt und
16 wir eine neue Theorie benötigen. Nur wenn unsere grundlegenden Theorien der
17 Teilchenphysik wirklich exakt wären, könnte man folglich überhaupt darüber
18 nachdenken, dass man komplexe Systeme auf sie reduzieren kann. Und sie müssen
19 nicht nur exakt sein, sie müssen auch in einem gewissen Sinn vollständig sein. Wir
20 Physiker haben noch nicht den Schock erlebt, den die Mathematiker mit den
21 Unvollständigkeitstheoremen erlebten. Wir glauben im Prinzip oft, dass die Physik
22 eine vollständige Beschreibung dessen ist, wie sich die Atome verhalten. Doch für eine
23 solche vollständige Beschreibung müsste das betrachtete System isoliert sein von allen
24 anderen Einflüssen, die wir nicht berücksichtigen. Aber bis auf die ersten beiden
25 Systeme, die ich eingangs erwähnt habe, nämlich das Gas und den Magneten, lassen
26 sich die genannten komplexen Systeme nicht vom Rest der Welt isolieren. Wenn ein
27 Lebewesen in eine dichte Kammer eingesperrt wird, ist es bald tot. Leben braucht
28 Sauerstoff und Nahrung. Auch die erwähnten Muster sind nicht von Bestand, wenn
29 man nicht andauernd Energie und Materie nachfüllt. Also müssten wir die
30 Randbedingungen, d.h. die Schnittstelle zwischen der Umgebung und dem
31 betrachteten System, das wir reduzieren wollen, exakt kennen. Nur dann könnten wir
32 exakt berechnen bzw. durch Theorien beschreiben, was im System passiert. Oder
33 alternativ müssten wir die Umgebung in die Theorie mit einbeziehen. Dann müssten
34 wir womöglich das ganze Universum auf einmal beschreiben. Die Bedingungen für
35 eine vollständige Reduktion sind also nicht erfüllbar.

36 8. Das Konzept der starken Emergenz

37 Man findet in der Literatur verschiedene Definitionen und verschiedene Merkmale von
38 starker Emergenz. Im Folgenden sollen die aus meiner Sicht zentralen Aspekte starker
39 Emergenz beschrieben werden.

1 Starke Emergenz bedeutet *zum Ersten*, dass die vermeintlich fundamentalen
2 Theorien das Verhalten komplexer Systeme nicht vollständig umfassen. Die in der
3 Naturwissenschaft durchgeführte Reduktion, so erfolgreich sie ist, ist weder exakt,
4 noch vollständig. Die Physik-Philosophin Nancy Cartwright formuliert es in ihrem
5 Buch mit dem provokativen Titel „How the Laws of Physics Lie“ so: „Die Natur ist
6 womöglich unterdeterminiert durch die Gesetze der Physik.“ Sie vermutet also, dass
7 die Gesetze der Physik nicht ausreichen, um alles zu beschreiben bzw. um alles
8 festzulegen, was passiert. Die Naturgesetze sind ihrer Meinung nach ein Patchwork,
9 keine Pyramide. In der Tat, warum sollte es in der Physik nicht ebenso wie in der
10 Mathematik Unvollständigkeitstheoreme geben?

11 Zweitens gehört zur starken Emergenz, dass die höheren Ebenen nicht vollständig
12 durch die unteren Ebenen bestimmt werden, sondern eine gewisse Eigenständigkeit
13 haben. Der Teilchenphysiker und Theologe John Polkinghorne, der ebenso wie George
14 Ellis den Templeton-Preis bekommen hat, betont in seinen Schriften die kausale
15 Offenheit physikalischer Systeme.⁷ Er sieht die Zufallskomponente der Quantenphysik
16 als Hinweis darauf, dass diese untere Beschreibungsebene nicht vollständig durch ihre
17 intrinsischen Gesetze determiniert ist. Dies bedeutet, dass sie offen ist für Einflüsse
18 von höheren Ebenen. Wenn die höheren Ebenen nicht vollständig durch die unteren
19 Ebenen bestimmt werden, bedeutet das auch, dass nicht nur die untere Ebene
20 Auswirkungen auf die obere hat, sondern auch umgekehrt. Es gibt eine echte abwärts
21 gerichtete Kausalität von der höheren zur niedrigeren Ebene.

22 Hiernit sind wir beim *dritten* Merkmal von starker Emergenz, der
23 *abwärtsgerichteten Kausalität*. Die höheren Ebenen haben einen echten kausalen
24 Einfluss auf das, was auf den niedrigeren Ebenen passiert. Ähnlich wie John
25 Polkinghorne betonte z.B. auch Karl Popper, dass eine abwärts gerichtete Kausalität
26 mit einem echten Zufall, also einer Stochastizität auf der niedrigeren Ebene einher
27 gehen muss. Karl Popper wird deswegen stark kritisiert von einigen Philosophen, aber
28 ich meine, dass er Recht hat. Wenn die Quantenebene deterministisch ist, ist ihre
29 zeitliche Entwicklung schon durch diese deterministischen Gesetze vorgegeben, und es
30 gibt keinen Platz für abwärts gerichtete Kausalität. Das klassische Beispiel für
31 abwärtsgerichtete Kausalität ist der Einfluss, den unser Bewusstsein auf die Vorgänge
32 in unserem Gehirn hat. Man spricht vom kausalen Einfluss des Mentalen, der natürlich
33 nicht von Personen mit einer reduktionistischen Position akzeptiert wird. Es scheint
34 ihnen unvorstellbar, dass wir als Person einen echten kausalen Einfluss darauf haben,
35 wie sich in unserem Gehirn die Moleküle bewegen.

36 Es ist eine Sache der Perspektive, ob man auf- oder abwärtsgerichtete Kausalität
37 wahrnimmt. Derselbe Sachverhalt ist oft mit beiden Perspektiven vereinbar, und man
38 muss sich dann jeweils fragen, was die überzeugendere Perspektive ist. Denis Noble
39 hat in seinem Buch „The Music of Life“ die beiden Perspektiven einander gegenüber

⁷ Dies findet man z.B. in dem Faraday-Paper Nr. 1, das hier heruntergeladen werden kann:
<https://www.faraday.st-edmunds.cam.ac.uk/Papers.php>

1 gestellt anhand des Sachverhaltes, dass wir Gene haben.⁸ Er zitiert Richard Dawkins
2 für die Aufwärts-Perspektive und stellt seine eigene Sichtweise dem gegenüber.
3 Richard Dawkins beschreibt er folgendermaßen:

4 „Gene treten in großen Kolonien auf, die geschützt in riesigen Robotern liegen und von der
5 Außenwelt abgeschirmt sind, mit der sie durch umständliche indirekte Wege kommunizieren und
6 sie ferngesteuert kontrollieren. Sie sind in dir und mir; sie haben uns geschaffen, Körper und
7 Geist; ihre Erhaltung ist der eigentliche Grund für unsere Existenz.“

8 Also: Gene bestimmen, was für Eigenschaften wir haben. Diejenigen, die sich gut
9 vermehren, setzen sich durch. Wenn sie uns so konstruieren, dass wir uns gut
10 vermehren, dann sind sie erfolgreich. Die umgekehrte Perspektive sieht nach Denis
11 Noble so aus:

12 „Gene sind gefangen in großen Kolonien, eingesperrt in höchst intelligenten Wesen und durch die
13 Außenwelt geformt, mit der sie durch komplexe Prozesse kommunizieren, woraus von allein, fast
14 magisch, ihre Funktion entsteht. Sie sind in mir und dir, und ihr Überleben hängt völlig von
15 unserer Freude an der Reproduktion ab; wir sind das System, das es ermöglicht, dass ihr Code
16 gelesen wird; wir sind letztlich der Grund für ihre Existenz.“

17 Er betont, dass ein Gen aus sich heraus gar nichts tun kann. Wenn die Mechanismen
18 in unseren Zellen verhindern, dass das Gen exprimiert wird, dann kann das Gen nichts
19 bewirken. Dieses Beispiel zeigt, dass es sehr plausibel ist, von einer Abwärts-
20 Verursachung auszugehen. Sonst erfasst man wesentliche Eigenschaften des Systems
21 nicht.

22 Ein viertes Merkmal starker Emergenz ist, dass die höhere Ebene neue Gesetze und
23 Bausteine hat, die ebenso fundamental wie die vermeintlich grundlegenden Gesetze
24 und Bausteine sind. Höhere Ebenen haben also wesensmäßig neue Gesetze, die sich
25 nicht vollständig zurückführen lassen auf die fundamentalen Gesetze. Vertreter dieser
26 Sichtweise sind zum Beispiel der Meinung, dass sich die Gesetze der klassischen
27 Mechanik, der Chemie und der Thermodynamik nicht vollständig auf die
28 Quantenmechanik zurückführen lassen.

29 9. Argumente für starke Emergenz

30 Aus den bisherigen Ausführungen wurde schon deutlich, dass es eine Reihe von
31 Gründen gibt, starke Emergenz zu vertreten. In der Tat gibt es aus meiner Sicht sehr
32 gewichtige Gründe für starke Emergenz und gegen eine reduktionistische Sicht. Im
33 Folgenden sollen sechs Gründe erläutert werden.

34 Das *erste Argument* verweist darauf, *dass nie die Teile ohne das Ganze existiert*
35 *haben*. Die Elementarteilchen gab es nie ohne das Universum als Ganzes. Welche
36 Objekte es im Universum gibt, hängt vom Universum als Ganzes ab, nämlich von
37 seiner Dichte und Temperatur und seinem Alter: In einer frühen Phase gab es das

⁸ NOBLE, DENIS, *The Music of Life: Biology beyond Genes*, Oxford u.a. 2006, S. 12 (Übers. d. Verf.).

1 sogenannte Quark-Gluon-Plasma, und als das Universum sich weiter ausdehnte,
2 entstanden daraus die Elementarteilchen und noch später die Atome. Jeder dieser
3 Übergänge war mit einer Symmetriebrechung verbunden. Im Laufe der weiteren
4 Entwicklung ballte sich die Materie unter dem Einfluss der Gravitation zusammen,
5 und es entstanden Sterne und Galaxien. Es war also nie so, dass es nur
6 Elementarteilchen gab, die irgendwann zusammengefunden haben und Atome geformt
7 haben, die sich zu Sternen zusammengefunden haben, und so fort. Es gab immer auch
8 das Ganze des Universums. Welche Elementarteilchen es geben kann, hängt von den
9 Symmetrieeigenschaften und Freiheitsgraden des Universums, genauer gesagt, des
10 Quantenvakuums, ab. All diese Eigenschaften werden in den Quantenfeldtheorien
11 implementiert. Es sind also höhere Ordnungsprinzipien, die festlegen, welche Teilchen
12 es überhaupt geben kann. *Der Kontext bzw. das Ganze bestimmt also die Teile.*

13 Ähnlich ist es übrigens auch in der biologischen Evolution. Man stellt sich immer
14 vor, dass es am Anfang nur unabhängige Einzeller gab, die dann im Laufe der Zeit zu
15 Mehrzellern zusammengefunden haben usw. Aber diese Einzeller waren nie
16 unabhängig voneinander und ihrer Umgebung. Sie haben von Anfang an viel
17 Informationsaustausch gehabt. Die Bakterien in den Ozeanen schicken dauernd
18 genetische Schnipsel aus in Form von kleinen Viren, die von anderen wieder
19 aufgenommen werden. Es gibt also viel Austausch von DNA. Die frühe Biosphäre
20 fungierte in gewissem Sinne als Organismus. Wir verstehen vieles davon noch nicht.
21 Es war niemals so, dass zunächst nur unabhängige Teile da waren, die dann
22 irgendwann zusammen kamen, um ein Ganzes zu bilden. Es gab immer ein Ganzes,
23 das natürlich früher anders aussah als heute. Das Ganze hat immer die Teile
24 beeinflusst und den Rahmen gesetzt.

25 Vielleicht sollte ich gar nicht das Wort Emergenz verwenden, weil hierbei die
26 Vorstellung mitschwingt, dass die Teile Priorität haben vor dem Ganzen. Man stellt
27 sich vor, dass die Teile zusammenkommen, um das Ganze zu bilden. Schon dieses
28 Bild ist falsch. Es gibt immer etwas Ganzes, in dessen Rahmen die Teile sich bewegen.
29 Die Teile können nur das tun, was der größere Kontext erlaubt.

30 Das *zweite Argument* ist, *dass die grundlegenden Gesetze der Physik nicht*
31 *unendlich genau sind.* Die Geschichte der klassischen Mechanik hat uns diese Lektion
32 gelehrt. Lange Zeit glaubten viele Wissenschaftler, dass die klassische (Newtonsche)
33 Mechanik eine exakte Beschreibung der Natur ist. Doch nach über 200 Jahren mussten
34 wir erkennen, dass sie nicht exakt ist. Wenn man zu extremen Geschwindigkeiten oder
35 Abständen geht, bricht diese Theorie zusammen. Bei Geschwindigkeiten nahe der
36 Lichtgeschwindigkeit braucht man die Spezielle Relativitätstheorie, bei kosmischen
37 Abständen die allgemeine Relativitätstheorie, bei ganz kleinen Abständen die
38 Quantenmechanik. Warum sollte es bei irgendeiner anderen Theorie anders sein? Jede
39 Theorie ist eine Idealisierung bzw. eine Abstraktion, die sehr gut ist in dem Rahmen,
40 in dem sie zutrifft bzw. für den sie gemacht ist. Aber sie ist nicht allumfassend und
41 nicht exakt.

42 *Drittens ist die Mikroebene nicht deterministisch.* Das wird beim radioaktiven
43 Zerfall am deutlichsten. Radioaktive Atome haben eine Halbwertszeit, d.h. man kann

1 genau angeben, nach welcher Zeit die Hälfte von vielen solchen Atomen zerfallen sind.
2 Man kann diese Halbwertszeit sogar mithilfe der Quantenphysik ausrechnen. Aber
3 man kann nicht sagen, welches Atom wann zerfällt. *Dieser quantenmechanische Zufall*
4 *ist übrigens keine reine Mikroeigenschaft. Er ist kontextabhängig.* Das lässt sich am
5 einfachsten anhand eines angeregten Atoms erklären: Wenn das Elektron sich in einer
6 höheren Schale befindet und in seinen Grundzustand herunter springt, dann sendet es
7 ein Lichtteilchen, also ein Photon aus. Dieser Prozess, dass das Elektron in den
8 Grundzustand springt, ist auch ein zufälliger Prozess. Wenn das Atom allerdings in
9 einen Hohlraum eingesperrt wird, der klein genug ist, dann kann dieser Übergang nicht
10 passieren, wenn der Hohlraum nicht genau die Frequenz des auszusendenden Photons
11 aufnehmen kann. Dann regt sich das Atom also nicht ab. Dies zeigt, dass der zufällige
12 Übergang in den Grundzustand vom umgebenden Medium abhängig ist. Es muss
13 imstande sein, das ausgesandte Photon aufzunehmen. So ist es auch beim radioaktiven
14 Zerfall. Das „Quantenvakuum“ muss so beschaffen sein, dass es das ausgesendete
15 Teilchen aufnehmen kann, sonst kann der Zerfall nicht passieren. Noch klarer ist die
16 Kontextabhängigkeit beim Messprozess. Bei der physikalischen Messung gibt es ein
17 Messgerät, und der Versuchsaufbau entscheidet, welche Größe gemessen wird. Ob der
18 Spin des Elektrons längs der x- oder der y-Richtung gemessen wird, hängt von der
19 Orientierung des Messgeräts ab. Auch stochastische Quantenprozesse, die ohne
20 menschlichen Einfluss in der Natur stattfinden, hängen in analoger Weise vom
21 Kontext ab. *All dies bedeutet, dass der quantenmechanische Zufall nicht eine*
22 *intrinsische Eigenschaft der Teilchen ist, sondern kontextabhängig ist. Der*
23 *quantenmechanische Zufall entsteht genau dort, wo das Ganze die Teile beeinflusst.*

24 *Viertens: Emergente Eigenschaften sind unabhängig von mikroskopischen Details.*
25 Dies hat besonders Robert Laughlin betont: Die höheren Ordnungsprinzipien sind zum
26 Beispiel unabhängig von der genauen Anordnung der Atome. Ja, das selbe
27 Ordnungsprinzip gilt oft in völlig verschiedenen Systemen. Physiker verwenden exakt
28 dieselbe mathematische Formulierung, wenn sie den Übergang von nicht-magnetisch
29 zu magnetisch in einer bestimmten Klasse von magnetischen Materialien beschreiben,
30 wenn sie den Phasenübergang zur Supraleitung beschreiben und wenn sie den Higgs-
31 Mechanismus beschreiben. Diese Unabhängigkeit von den Details der unteren Ebene
32 gibt es nicht nur in der Physik. Der theoretische Biologe und Komplexitätsforscher
33 Stuart Kauffman wendet sich gegen eine reduktionistische Sichtweise in der Biologie
34 und betont, dass der Evolutionsprozess unabhängig von den mikroskopischen Details
35 der Organismen ist. Wenn wir Evolution sehr vereinfacht als einen Prozess von
36 Mutationen und Selektionen darstellen, dann kann sie auf ganz verschiedenen
37 Plattformen laufen. Sie ist nicht zwangsläufig an unsere Atome und Elementarteilchen
38 gebunden. Das Prinzip von Mutation und Selektion wird sogar in
39 Optimierungsalgorithmen angewendet.

40 *Fünftens: Sogar nicht-materielle Dinge haben einen Einfluss auf die Materie.* Nicht
41 die Elementarteilchen und die Kräfte zwischen ihnen, sondern die höheren
42 Ordnungsprinzipien bestimmen, wie die Materie sich verhält. Diese Prinzipien sind
43 nicht materiell. Auch die Mathematik, mit der sich viele Eigenschaften des

1 Universums so gut beschreiben lassen, ist nicht materiell. Unser Gehirn wird ebenfalls
 2 von nichtmateriellen Einflüssen geleitet. Die Gesetze der Logik beeinflussen uns,
 3 wenn wir denken und argumentieren. Dies ist eine abwärtsgerichtete Beeinflussung
 4 von einer nichtphysikalischen Ebene auf die physikalischen und chemischen Prozesse
 5 in unserem Gehirn. Ähnlich verhält es sich mit dem Einfluss unseres Bewusstseins auf
 6 unser Gehirn.

7 Die Prinzipien, die den in den Eingangsbeispielen genannten Verkehr steuern, sind
 8 ebenfalls nichtmateriell. Die Verkehrsregeln beeinflussen, wie Autos sich bewegen.
 9 Nun gibt es die Verkehrsregeln erst, seit es Autos gibt, und man könnte sie daher für
 10 ein schwach emergentes Phänomen halten, das sich aus der Interaktion zwischen den
 11 Autofahrern automatisch ausgebildet hat. Doch dem ist nicht so. Beim Aufstellen der
 12 Verkehrsregeln wurden sehr bewusst gewisse Prinzipien und sogar Werte angewendet.
 13 Diese Werte sind, dass man schnell ans Ziel kommt und dass möglichst wenige
 14 Unfälle passieren. Unser Verhalten wird ebenfalls von Werten geleitet. Das sind alles
 15 Dinge, die in irgendeinem Sinne existieren und die physikalische Welt beeinflussen.

16 Die Welt der Physik ist also keineswegs kausal geschlossen. Wie sich die Atome
 17 bewegen, wird nicht allein durch die physikalischen Gesetze bestimmt.

18 *Sechstens: Selbst derjenige, der behauptet, dass die Teilchenphysik die*
 19 *fundamentalste Realität ist, akzeptiert implizit vorher eine noch grundlegendere*
 20 *Realität, nämlich dass er ein denkendes Wesen ist und echte Einsichten gewinnen*
 21 *kann durch das Denken und Forschen. Sonst gäbe es ja keinen Grund, den*
 22 *Schlussfolgerungen der physikalischen Forschung zu trauen. Dass wir echte Einsichten*
 23 *gewinnen können, ist für uns allerdings so selbstverständlich, dass wir uns oft gar*
 24 *nicht bewusst machen, wie erstaunlich diese Tatsache ist. Der bekannte Philosoph*
 25 *Thomas Nagel argumentiert in seinem kontrovers diskutierten, provokanten Buch*
 26 *„Geist und Kosmos“ in ähnlichem Sinne. Die Tatsache, dass wir bewusste, denkende*
 27 *Wesen sind, weist darauf hin, dass die Physik keine vollständige Beschreibung der*
 28 *Welt liefert:*

29 „Die Existenz des Bewusstseins impliziert offenbar, dass die physikalische Beschreibung des
 30 Universums trotz ihres Detailreichtums und ihrer Erklärungskraft nur ein Teil der Wahrheit ist,
 31 und dass die Naturordnung bei weitem weniger schlicht ist, als sie es wäre, wenn Physik und
 32 Chemie alles erklärten.“⁹

33 10. Und was bedeutet das alles für die Seele?

34 Was bedeuten die bisherigen Ausführungen für die Frage nach der Seele? *Zunächst*
 35 *einmal möchte ich diskutieren, was es bedeuten würde, wenn der Reduktionismus*
 36 *Recht hätte. Selbst dann gäbe es mehrere Möglichkeiten, Schlussfolgerungen in Bezug*
 37 *auf die Seele zu ziehen.*

⁹ NAGEL, THOMAS, Geist und Kosmos, Berlin 2013, S.55.

1 Die *erste Möglichkeit* ist, dass man den Materialismus vertritt. Das heißt, dass die
2 Materie und die grundlegenden physikalischen Gesetze die letzte Realität sind, die in
3 irgendeinem Sinne alles erfassen und bestimmen. Geist, Bewusstsein und Seele sind
4 dann nur ein Epiphänomen, also ein Phänomen, das nicht eigene kausale Fähigkeiten
5 hat. Die Kausalitätsketten laufen anders. Diese Epiphänomene würden dann natürlich
6 mit dem Tod auch wieder verschwinden. Diese materialistische Sicht bringt ein
7 riesiges Problem mit sich: Wieso gibt es das Bewusstsein, also diese Innenperspektive,
8 wenn es keine Rolle spielt, d.h. wenn die kausalen Ketten eigentlich daran vorbei
9 laufen und es einfach daneben steht?

10 Die *zweite Möglichkeit* ist, dass man einen Dualismus vertritt. Wenn man davon
11 ausgeht, dass diese materielle, physikalische Welt durch physikalische Gesetze
12 vollständig erfasst wird, kann es dennoch eine nichtmaterielle Seele geben. Es gäbe
13 dann neben der materiellen Welt noch eine geistige Welt. Weil die Seele mit Körpern
14 interagiert, müsste es Schnittstellen zwischen der geistigen und der materiellen Welt
15 geben. Die Frage, wie diese Schnittstelle aussieht, kann man auf zwei verschiedene
16 Arten beantworten, nämlich mit einer kompatibilistischen Sicht oder einer
17 interventionalistischen Sicht. Kompatibilismus heißt, dass auf magische Weise,
18 während alle Atome in unserem Kopf exakt und vollständig den Gesetzen der Physik
19 gehorchen, die ihre Bewegung bestimmen, gleichzeitig auch die Gesetze der Logik
20 unser Denken leiten, oder die anderen geistigen Einflüsse, unter denen wir gerade
21 stehen. Ich finde dies ehrlich gesagt so wundersam, dass es für mich absolut
22 unplausibel ist.

23 Die Alternative wäre der Interventionalismus. Die Bewegung der Atome und
24 Moleküle, auch derjenigen in unserem Gehirn, wäre im Prinzip vollständig durch die
25 Physik beschrieben. Wenn also unsere Seele, unser Ich, unser Bewusstsein etwas
26 entscheidet oder bewirkt, bewegen sich die Atome anders, als sie es allein unter dem
27 Einfluss der physikalischen Gesetze tun würden. Das bedeutet, dass die geistige Welt
28 in die materielle Welt eingreift und den Lauf der Dinge verändert, der durch die
29 physikalischen Gesetze anders vorgegeben wäre. Diese interventionalistische Sicht
30 findet man bei einigen christlichen Denkern. Der Kontext ist oft weniger die
31 Diskussion zwischen Geist und Gehirn, sondern die Diskussion, wie Gott in der Welt
32 wirkt. Hier geht es um eine ähnliche Frage: Wie wirkt die geistige Realität Gottes in
33 unserer materiellen Welt? Meines Erachtens beruht die Intelligent-Design-Bewegung
34 letztlich auf dieser Annahme, dass die Physik vollständig bestimmen kann, was
35 passiert.

36 Das Programm der Intelligent-Design-Bewegung besteht ja darin, zu zeigen, dass
37 die Abläufe bei der Entstehung und Entwicklung des Lebens anders waren als das, was
38 die Physik vorhersagt. Man führt zu diesem Zweck Wahrscheinlichkeitsberechnungen
39 an. Am Ende wird gefolgert, dass es eine geistige Instanz geben muss, die in die
40 materielle, physikalische Welt eingreift. Hier wird ein physikalisches Weltbild
41 zugrunde gelegt, das reduktionistisch und kausal vollständig geschlossen ist; ein im
42 Prinzip vollständiges Theoriegebäude. Sonst könnte man ja keine Aussagen darüber
43 machen, was „allein aufgrund der Physik“ geschehen müsste.

1 Der Interventionalismus wirft problematische Fragen auf: Kann es Personen und
2 Gehirne geben, die nach den Gesetzen der Physik ticken und kein Bewusstsein haben?
3 Zu welchem Zeitpunkt kommt die Seele in den Embryo? Die interventionalistische
4 Sicht scheint mir ebenso unplausibel wie die kompatibilistische Sicht.

5 *Den genannten, wenig überzeugenden reduktionistischen Vorstellungen stehen auf*
6 *starker Emergenz beruhende Sichtweisen gegenüber.* Das Konzept der starken
7 Emergenz bietet eine stimmige Möglichkeit, die geistige und materielle Dimension des
8 Menschen in Beziehung zu setzen. Wenn es starke Emergenz gibt, ist das physikalisch
9 Beschreibbare nicht die vollständige Realität. Es gibt einen geistigen Aspekt der
10 Realität, der sich nicht trennen lässt vom physikalischen und materiellen Aspekt.

11 Hier ist *zunächst* eine *monistische Sicht* plausibel und auch weit verbreitet. Im
12 englischsprachigen Raum ist die Rede von „Dual Aspect Monism“, also einem
13 Monismus, bei dem es zwar nur eine Art von Grundsubstanz gibt, die aber zwei
14 Aspekte hat, den materiellen und den geistigen. Beides ist untrennbar miteinander
15 verwoben. Es gibt mehrere Spielarten des Monismus:

16 *Erstens gibt es die atheistische Variante.* Manche nennen sie den spirituellen
17 Naturalismus. Hier lässt sich Stuart Kauffman einordnen. Er argumentiert gegen den
18 Reduktionismus und für starke Emergenz, für eine geistige Dimension der Welt, für
19 eine intrinsische Kreativität des Universums und des Lebens. Bei ihm ist die geistige
20 Komponente untrennbar verflochten mit der materiellen Komponente, und es gibt für
21 ihn nichts über diese Welt hinaus. Er bekennt sich zum Atheismus. Ähnlich ist es bei
22 Thomas Nagel. Auch er bezeichnet sich als Atheist. Aber auch für ihn ist das Geistige
23 eine Dimension bzw. eine Eigenschaft des Universums. Es hat die intrinsische
24 Fähigkeit, Leben und Bewusstsein zu entwickeln. Auch der Emergentismus als
25 Weltanschauung gehört in die Kategorie nicht reduktionistischer naturalistischer
26 Weltbilder. Auch hier geht man davon aus, dass es jenseits der Natur nichts weiter gibt.

27 Dem spirituellen Naturalismus sehr nahe ist *zweitens der Pantheismus*. Hier wird
28 die Welt samt ihrer geistigen Dimension als göttlich angesehen.

29 Es gibt *drittens* auch eine *theistische Variante des Monismus*. Demnach ist die Welt
30 mit ihren untrennbar miteinander verbundenen materiellen und geistigen Dimensionen
31 Gottes Schöpfung. Diese Art Monismus wird von einigen Autoren vertreten, die über
32 das Thema Glauben und Wissenschaft schreiben, z.B. von John Polkinghorne. Er
33 schreibt, dass unsere Seele wie ein Muster in die Materie geprägt ist und unseren
34 Charakter und unsere Erinnerungen etc. umfasst. Weil die geistige und materielle
35 Dimension folglich nicht voneinander getrennt werden können, geht er davon aus, dass
36 unser Bewusstsein bzw. unsere Seele gemeinsam mit dem Leib stirbt und nicht
37 unabhängig von ihm weiterexistieren kann, außer in der Erinnerung Gottes. John
38 Polkinghorne bekennt sich zum letzten Satz des apostolischen Glaubensbekenntnisses
39 und geht davon aus, dass die Seele zusammen mit einem neuen Leib wiedererstanden
40 wird, wenn Gottes neue, unvergängliche Schöpfung anbricht, die aus der alten

1 hervorgehen wird.¹⁰ Es scheint mir allerdings, dass diese Transformation der Welt in
2 Gottes neue Schöpfung bei uns in Deutschland vielfach nicht mehr für möglich oder
3 plausibel gehalten und nur noch bildlich verstanden wird. Doch meines Erachtens lässt
4 man sich hier zu sehr vom physikalischen Weltbild beeinflussen. Da die Physik
5 entscheidende Aspekte der (innerweltlichen und überweltlichen) Realität nicht erfasst,
6 scheint mir ihre kosmologische Zukunftsprognose höchst unsicher. Es könnte durchaus
7 auch ganz anders kommen.

8 *Letztlich* ist starke Emergenz verbunden mit dem Theismus m.E. nicht nur mit
9 einem monistischen Verständnis vereinbar, sondern auch mit dem Glauben an eine
10 unsterbliche Seele. Ich sehe keinen logischen Grund, warum starke Emergenz, so wie
11 sie in diesem Beitrag dargestellt wurde, nicht auch mit einer immateriellen
12 Weiterexistenz nach dem Tod einhergehen könnte. Wenn wir glauben, dass Gott Geist
13 ist, warum sollte es nicht möglich sein, dass nach unserem Tod unsere geistige
14 Komponente weiterlebt, selbst wenn sie bis zum Tod untrennbar mit dem Körper
15 verwoben ist? Die Argumente, die gegen die Unsterblichkeit der Seele vorgebracht
16 werden, finde ich nicht überzeugend. Wir stehen hier allerdings vor einer Frage, die
17 unser Denken und unsere wissenschaftlichen Möglichkeiten weit übersteigt. Vielleicht
18 ist es am klügsten, sich zu bescheiden und zuzugeben, dass wir an die Grenzen unserer
19 Erkenntnismöglichkeit gelangt sind.

20

21 Literatur:

22 ANDERSON, PHILIP W., More is Different. *Science* 177, 1972, 393–396.

23 DAWKINS, RICHARD, *Das egoistische Gen*, Heidelberg 2007.

24 ELLIS, GEORGE, Physics, Complexity and Causality, *Nature* 435, 2005, 743.

25 LAUGHLIN, ROBERT/PINES, DAVID, The Theory of Everything, *Proceedings of the National Academy of Sciences*
26 97, 2000, 28–31.

27 LEGGETT, ANTONY, On the Nature of Research in Condensed-state Physics, *Foundations of Physics* 22, 1992,
28 221–230.

29 NAGEL, THOMAS, *Geist und Kosmos*, Berlin 2013.

30 NOBLE, DENIS, *The Music of Life. Biology beyond Genes*, Oxford u.a. 2006.

31 POLKINHORNE, JOHN, [http://www.franciscans.org.uk/franciscan/franciscan-september-2012/a-destiny-beyond-](http://www.franciscans.org.uk/franciscan/franciscan-september-2012/a-destiny-beyond-death-heaven-john-polkinghorne)
32 [death-heaven-john-polkinghorne](http://www.franciscans.org.uk/franciscan/franciscan-september-2012/a-destiny-beyond-death-heaven-john-polkinghorne).

33 POLKINHORNE, JOHN, Nr. 1 auf <https://www.faraday.st-edmunds.cam.ac.uk/Papers.php>.

34 WEINBERG, STEVEN, *Die ersten drei Minuten*, München 1997.

¹⁰ <http://www.franciscans.org.uk/franciscan/franciscan-september-2012/a-destiny-beyond-death-heaven-john-polkinghorne> (Zugriff 31.12.2015)