

Über Struktur oder das Verhältnis der Teile zum Ganzen

Dieser Artikel ist Wolfgang J. Daunicht gewidmet

Johannes Reich*

21. Oktober 2009

*Email: johannes.reich@sophoscape.de, Erschienen: J.Reich (2001), Über Struktur oder das Verhältnis der Teile zum Ganzen, *Philosophia Naturalis* 38(1), pp. 37-69.

Zusammenfassung

Um innerhalb des Naturalismus die Eigenschaften komplexer Systeme verstehen zu können, ist ein adäquates Verständnis der grundlegenden Begriffe von Existenz und Struktur und des damit eng verbundenen Begriffes des Neuen notwendig. Wegen ihrer grundlegenden Bedeutung werden ihre Inhalte exemplarisch beschrieben.

Ein einheitlicher Existenzbegriff für die Dinge dieser Welt bildet das Fundament zu einem angemessen verstandenen Naturalismus. Als wesentliche (negative), vom Naturalismus vorgegebene Bedingung wird Dingen Existenz abgesprochen, wenn kein physikalisch messbares - eben materielles - Korrelat vorstellbar ist. Das Immaterielle - Nichtmessbare - steckt in der Struktur der Dinge. Verstanden als Komplement zum Begriff der Materie stellt der Begriff der Struktur den Schlüssel dar, der Descartes'schen Sackgasse, die Welt in getrennte Bereiche für geistige und körperliche Dinge einzuteilen, zu entkommen. Die Komplementarität von Struktur und Materie findet ihre Wurzeln in der Aristotelischen Lehre von Form und Substanz.

Die Abbildbarkeit von Struktur wird als wesentliche Voraussetzung, über Struktur getrennt von ihrem materiellen Korrelat reden zu können, eingeführt.

Der Begriff der physikalischen Ordnung wird gegenüber dem Strukturbegriff abgegrenzt. Es wird exemplarisch demonstriert, in welcher Form immateriellen Dingen Existenz zugeschrieben werden kann, dass für sie insbesondere kein Erhaltungssatz gelten muss und sie eine Eigenschaft des ganzen Systems sind.

An Beispielen aus der Vielteilchenphysik werden Prozesse der spontanen Entstehung von Struktur beschrieben, die einerseits im thermischen Gleichgewicht und andererseits fern davon ablaufen. Es wird verdeutlicht, dass sich Struktur bei stetiger Parameterveränderung sprunghaft verändern kann, dass Struktur erzeugt werden und vergehen kann, ohne dass uns dies kontraintuitiv erscheint, und dass es keine allgemeine "Theorie von Allem" geben kann.

Das Verhältnis der Teile zum Ganzen wird auf die Struktur des Ganzen zurückgeführt. Das Strukturiertsein wird als die ganzheitsbestimmende Eigenschaft eines Systems ausgezeichnet und das Erkennen eines Ganzen als identisch mit dem Erkennen seiner Struktur gesetzt.

Anhand von Beispielen aus der Physik und Mathematik zeigt sich, dass in neuen Zusammenhängen Teile u.U. neue, vormals unbekannte Eigenschaften aufweisen können. Die Frage, ob die Eigenschaften des Ganzen immer aus den Eigenschaften der Teile ableitbar sind, wird anhand der Mathematik diskutiert. Da diese Frage unentscheidbar, d.h. insbesondere nicht durch ein Gegenbeispiel falsifizierbar ist, steht einem der Standpunkt zu dieser Frage frei. Da ihre Verneinung zu großen Einschränkungen führt, besteht der pragmatische Standpunkt in ihrer Bejahung.

Die Eigenschaften von Ganzheiten entstehen nicht durch das Werk geheimnisvoller "emergenter" Kräfte. Es handelt sich vielmehr um eine fundamentale Eigenschaft von Ganzheitlichkeit, dass die Eigenschaften der Teile und des Ganzen auf unterschiedlichen Ebenen stehen, das Verhältnis der Eigenschaften der Teile und des Ganzen prinzipiell hierarchisch ist.

Der Begriff des Neuen wird auf den des Unvorhersagbaren zurückgeführt. Neues entsteht immer dort, wo Unvorhersagbares geschieht. In der Informationstheorie führt die Beschränkung auf Frage-Anwort-Spiele mit vorher festgelegten, abzählbaren und formal entscheidbaren Antwortalternativen zur Quantifizierbarkeit von Neuheit. Qualitativ Neues hingegen kann immer dort entstehen, wo sich die Struktur von Systemen ändert. Daraus folgt, dass in unserer Welt permanent qualitativ Neues entstehen und Dinge ebenso für immer verloren gehen können.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Die Grenzen exakter Definitionen	6
2	Existenz	7
3	Struktur	9
3.1	Die aristotelische Theorie von Substanz und Form	10
3.2	Die Abbildbarkeit von Struktur	11
3.3	Die Abgrenzung zwischen Struktur und Ordnung	12
3.3.1	Zwei Eigenschaften der physikalischen Ordnung	13
3.4	Strukturbildung in der Physik: Phasenübergänge und globale Instabilitäten	14
3.4.1	Strukturbildung im thermischen Gleichgewicht: Phasenübergänge	14
3.4.2	Strukturbildung fern vom thermischen Gleichgewicht: dissipative Strukturen	16
3.5	Das Verhältnis zwischen dem Ganzen und seinen Teilen	18
3.5.1	Strukturiertsein als die ganzheitsbestimmende Eigenschaft schlecht- hin	18
3.5.2	Beispiele aus der Physik	19
3.5.3	Beispiele aus der Mathematik	20
3.5.4	Eine Hierarchie von Eigenschaften	23
4	Neues	24
4.1	Nichterklärbares versus Unvorhersagbares	25
4.2	Neuigkeit in der Informationstheorie oder quantitativ Neues	26
4.3	Qualitativ Neues	27

1 Einleitung

Schreibt man einen Artikel über den Strukturbegriff, stellt sich die Frage, wie offen die Türen sind, die man durchläuft. Einerseits scheinen seine wesentlichen Eigenschaften schon seit der Antike bekannt zu sein, andererseits existiert bis in unsere Zeit ein Sprachgebrauch des Strukturbegriffs und verwandter Begriffe, der aufzeigt, dass seine Eigenschaften nur zu oft unzureichend erfasst werden. Das bemerkt man spätestens bei der naturphilosophischen Beschäftigung mit den Eigenschaften komplexer Systeme, wie der Entstehung des Lebens aus unbelebter Materie oder der Entstehung von Intelligenz, Kreativität oder Bewusstsein aus offensichtlich unintelligenten, unkreativen oder unbewussten Teilen. Dort stellt sich früher oder später die Frage, ob bzw. wie weit wir mit den heutigen naturwissenschaftlichen Denkrahmen diese Phänomene verstehen und erklären können. Sind diese Phänomene in irgend einem Sinne “emergent”, wie z.B. Popper & Eccles (1977) behaupteten und entziehen sich damit womöglich unserem Verständnis? Ist vielleicht unsere jetzige Begriffswelt nur zu arm und mit der Beschreibung dieser Phänomene überfordert, so dass es erst einer gänzlich neuen Sprache bedarf, um zu einem adäquaten Verständnis zu gelangen, wie Churchland (1986) fordert?

Es gibt sicherlich nicht den einen naturwissenschaftlichen Denkrahmen. Ein Beispiel ist der auf Descartes (1596-1650) zurückgehende Dualismus, der die Welt von vornherein in zwei getrennte Bereiche aufteilt, nämlich einen geistigen und einen körperlichen. Obschon aus der Mode gekommen, ist er auch weiterhin sehr einflussreich. Searle (1992) zeigt überzeugend, dass ein monistischer Materialist, für den geistige Phänomene höchstens noch in einem “Epi”-Sinn existieren, nichts anderes ist als ein Anhänger der Grundannahmen dieses Dualismus, der jedoch wegen seines naturwissenschaftlichen Denkens den geistigen Bereich als “nicht messbar” ausgrenzt. Auch die beständige Diskussion um das Leib-Seele Problem in der Medizin (z.B. Schmahl & von Weizsäcker, 2000) ist ein Beispiel für seinen fortwährenden Einfluss.

Damit stellt sich die Frage, ob und welcher Denkrahmen sich als Alternative anbietet. Der unter Naturwissenschaftlern sicherlich dominierende ist der Naturalismus, der von Vollmer (1994) durch sieben Thesen charakterisiert wurde:

- Nur so viel Metaphysik wie nötig.
- Ein Mindestrealismus, nachdem es eine Welt ohne Menschen geben kann.
- Primat unbelebter Energie.
- Aufbau realer Systeme aus einfacheren Teilen.
- Keine erfahrungstranszendente Instanzen.
- (Deshalb) keine Wunder.

- Auch die geistigen Leistungen des Menschen führen nicht über die Natur hinaus.

Nach Vollmer erhebt dieser Naturalismus den universellen Anspruch, ein “Weltbild” zu entwerfen. Da er sich von anderen Ansätzen vor allem durch die Beschränkung der Mittel, die zur Beschreibung und Erklärung der Welt zugelassen werden, unterscheidet, stellt sich die Frage, ob der solcherart beschränkte Denkraum ausreicht, um komplexe Phänomene wie die Entstehung von Leben und Bewusstsein zu verstehen.

Meine Antwort darauf ist: Der Denkraum ist ausreichend, wenn man ein adäquates Verständnis des Struktur- und der damit im engen Zusammenhang stehenden Existenz- und Neuigkeitsbegriffe besitzt. Aus diesem Grunde wird die weitere Abhandlung sich speziell mit diesen Begriffen befassen und aufzeigen, welche Inhalte diesen Begriffen im Kontext des Naturalismus zukommen sollten. Dass es um deren Verständnis nicht zum besten steht, lässt sich an vielerlei ablesen. So wird i.a. angenommen (auch Vollmer drückt sich so aus), nur materiell/energetischen Dingen könne Existenz zugeschrieben werden. Weiterhin scheint die Frage, ob das Ganze nun mehr oder nicht mehr als die Summe seiner Teile sei, ewig unbeantwortet zu bleiben, genauso wie es bisher keine echte Erwiderung gegenüber der Feststellung zu geben scheint, es gebe nichts Neues unter der Sonne.

1.1 Die Grenzen exakter Definitionen

Spricht man isoliert über Struktur, könnte man zunächst die Frage nach einer Definition stellen. Der Eintrag im “Philosophischen Wörterbuch” (Schmidt & Schischkoff, 1982) beginnt mit: Struktur (lat. “Gefüge, Bau, Zusammenhang”), das Bezugssystem im Aufbau des Ganzen, schon bei Kant “Lage und Verbindung der Teile eines nach einheitlichen Zweck sich bildenden Organismus”. Hörz (1991) bezeichnet als Struktur die Gesamtheit der Beziehungen, die zwischen den Elementen oder Subsystemen eines jeweils betrachteten Systems bestehen. Ein pragmatischer Standpunkt wäre, Struktur als das zu definieren, was die Strukturwissenschaften, d.h. die Mathematik, die Informatik, usw. beschreiben.

Bei all diesen “Definitionen” stehen wir vor einem Problem. Durch eine exakte Definition wird ein Ersatz für das Definierte geschaffen, das an den Stellen, an denen es auftaucht, eine einfache Ersetzung durch das Definierende erlaubt. In ihrer Natur liegt es damit, sich auf andere, entsprechend grundlegendere Begriffe zu stützen, die ihrerseits wiederum auf noch grundlegendere Begriffe zurückgeführt werden müssen, usw. Dieses Vorgehen findet seine Grenzen in den Unschärfen der Umgangssprache. In der Mathematik, die allgemein als die exakteste aller Wissenschaften gilt, werden grundlegende Objekte wie beispielsweise “Menge” oder “Zahl” nicht definiert. Hier muss der Mathematiker den Gebrauch der Umgangssprache voraussetzen. Die damit verbundene begriffliche Unschärfe hat historisch durchaus zu Überraschungen geführt. Bertrand

Russell wies um die Jahrhundertwende darauf hin, dass die ursprüngliche Vorstellung, zu jeder Eigenschaft gäbe es eine entsprechende Menge mit Objekten, die diese Eigenschaft besäßen, zu Widersprüchen führt. Von ihm stammt die - widersprüchliche - Definition der Menge aller Mengen, die sich nicht selbst als Element enthalten.

Nach Kamlah & Lorenzen (1973) sollte der Aufbau einer wissenschaftlichen Sprache daher nicht mit Definitionen beginnen, die ja ausschließlich auf Begriffe der Umgangssprache zurückgreifen müssten, sondern mit der exemplarischen Einführung grundlegender Begriffe und der Regelung ihres Sprachgebrauchs, so dass sie hernach als Baumaterial für weitere Definitionen zur Verfügung stehen. Die Auswahl der Begriffe dürfte im Allgemeinen einer gewissen Willkür unterliegen. Mein Anliegen ist es Struktur- und den damit im Zusammenhang stehenden Existenzbegriff derart zu beschreiben, dass deutlich werden sollte, dass beide als grundlegend angesehen werden sollten.

2 Existenz

Der erste Schritt zu einem angemessen verstandenen Naturalismus und weg von einem Descartes'schen Verständnis der Welt besteht in der Erlangung eines einheitlichen Existenzbegriffes für - in der Descartes'schen Terminologie - körperliche und geistige Dinge.

Dabei gibt der Naturalismus Rahmenbedingungen für Existenz an, in die die spezielleren Vorstellungen von Existenz der einzelnen Geistes- und Realwissenschaften eingebettet werden können. Diese Bedingungen sind weniger von positiv, als vielmehr von negativ bestimmender Natur. D.h. vom naturalistischen Standpunkt lassen sich keine Bedingungen angeben, unter denen etwas zu existieren hat, wie etwa "Dinge existieren genau dann, wenn ...". Stattdessen lassen sich nur Bedingungen angeben, die die Möglichkeit von Existenz, bzw. deren Absprache zum Inhalt haben. Da die Absprache der Möglichkeit von Existenz die Absprache tatsächlicher Existenz nach sich zieht, die alleinige Möglichkeit von Existenz aber eine sehr schwache Aussage ist, liegt das Schwergewicht des naturalistischen Existenzbegriffes auf den negativen Bedingungen.

Als wesentliche negative Bedingung, die der Naturalismus vorgibt, wird Dingen Existenz abgesprochen, wenn kein physikalisch messbares Korrelat vorstellbar ist. Mit der Forderung, alles Existierende "irgendwie" messen¹ zu können, nimmt der Naturalismus wesentlich auf den physikalischen Existenzbegriff Bezug. Deshalb ist es wichtig zugleich festzustellen, dass es u.U. nicht als das gemessen wird, was es in einem anderen Zusammenhang ist, sondern nur sein physikalisch messbares Korrelat. Beispiele dafür sind

¹Im Zusammenhang mit dem Thema dieses Aufsatzes ist von Interesse dass klassischer Weise eine Messung immer mit einem Energieaustausch zwischen dem zu messenden System und der Messapparatur verbunden ist. Im Rahmen der Quantenphysik lassen sich jedoch auch "wechselwirkungsfreie" Messungen anstellen, bei denen das zu messende System allein die Struktur der Messapparatur verändert (z.B. Kwiat *et al.*, 1995, 1997).

leicht aufgezählt. Gedanken lassen sich nicht messen, wohl aber die mit ihnen verbundenen Nervenzellaktivitäten. Gleiches gilt natürlich auch für alle an unsere Gedanken gekoppelten Vorstellungen, die Objekte der Mathematik, abstrakte Begriffe, etc. Dabei ist es nicht notwendig, die Existenz von abstrakten Begriffen an den eigentlichen Denkkakt zu koppeln. Es genügt die Tatsache, dass es mindestens einen Menschen (oder ein vergleichbares Wesen) geben muss, der sie bei Bedarf denken kann. Ein Vergleich mit einem elektronischen Speicher mag dies veranschaulichen. Auch dort ist die Existenz von Informationen nur an die Möglichkeit ihrer jederzeitigen Abrufbarkeit gekoppelt und nicht an den eigentlichen Akt der Abfrage.

Ein Beispiel für etwas, dem der Naturalismus Existenz absprechen würde, ist die kausale Wirkung der sogenannten Hochpotenzen der Homöopathie. Dort werden stoffliche Verdünnungen hergestellt, die mit einem Faktor von über 100^{30} kein Molekül der Wirksubstanz im Lösungsmittel (Wasser oder Alkohol) belassen - außer den sowieso vorhandenen Verunreinigungen. Auf Grund unserer Kenntnisse dieser Flüssigkeiten existiert keine Vorstellung davon, wie sie, die sich im thermischen Gleichgewicht befinden, irgendwelche strukturellen Informationen über die Wirksubstanz "behalten" sollten.

Dieser Existenzbegriff umfasst damit auch geisteswissenschaftliche Objekte in geeigneter Weise. Als Beispiel soll wieder die Mathematik angeführt werden. Mathematiker vertreten im Wesentlichen eine von zwei Auffassungen über die Existenz mathematischer Objekte (siehe auch Abschnitt 3.5.3). Die meisten sind der Auffassung Hilberts, der die Existenz mathematischer Objekte annahm, wenn sich ihre Eigenschaften widerspruchsfrei formulieren ließen. Die Intuitionisten um den Mathematiker Brouwer sind hingegen der Auffassung, man könne sinnvoll von der Existenz eines Objektes erst sprechen, wenn man es tatsächlich in endlicher Zeit konstruieren könne. Beide Auffassungen lassen sich in die naturalistische Vorstellung von Existenz einbetten, solange man mathematischen Objekten keine von jedem Mathematiker unabhängige Existenz im Sinne platonischer Ideen zuschreibt, sondern ihre Existenz an die Existenz wenigstens eines Mathematikers koppelt, der von diesen Objekten bei Bedarf ausreichend gute Vorstellungen besitzt.

Wenn ich das messbare Korrelat der Dinge als das materiell Existierende bezeichne, muss es demnach immaterielle Dinge geben, die sich einer direkten Messung entziehen. Es stellt sich nun die Frage, ob dieses nicht materiell Existierende noch grundlegender charakterisiert werden kann. Was existiert und ist dennoch nicht messbar? Im Rahmen des Naturalismus muss es etwas sein, was direkt an das Auftreten von Materie gekoppelt ist, da Materie dessen Korrelat darstellt. Aber im Gegensatz zur Materie sollte es vergänglich bzw. erzeugbar sein. Die Antwort auf diese Frage lautet: Struktur. Struktur existiert nicht "an sich", sondern immer nur materiell gebunden. Umgekehrt betrachtet tritt Materie ebenfalls immer nur strukturiert auf. Das Verhältnis zwischen Struktur und Materie ist demnach ganz im Sinne von Aristoteles ein komplementäres: Keine Materie existiert ohne Struktur, und keine Struktur existiert ohne Materie. D.h. mit der gleichen Berechtigung, mit der von der Existenz von Materie gesprochen werden kann,

kann auch von der Existenz von Struktur gesprochen werden. Damit ist nicht gemeint, Struktur gäbe es so ähnlich wie Atome. In diesem Satz werden die Descartes'sche und die hier vorgetragene naturalistische Vorstellung von Existenz vermischt. Tatsächlich stellen Atome mit ihrem Kern und ihrer Elektronenhülle Materie dar, die auf charakteristische Weise strukturiert ist. Die Struktur der Atome hat keine eigenständige Existenz, genauso wenig wie die Materie, d.h. die Protonen, Neutronen und Elektronen, aus der sie aufgebaut sind. Unstrukturierte Atome gibt es nicht.

Diese Komplementarität von Struktur und Materie ist völlig verschieden von einem wie auch immer gearteten Descartes'schen Dualismus. Sie stellt den Schlüssel dar, die Welt naturalistisch verstehen und der Descartes'schen Sackgasse entgehen zu können.

Ein Grund für den oft uneinheitlichen und damit unzulänglichen Existenzbegriff könnte in dem Einfluss der physikalischen Erhaltungssätze auf unsere Vorstellung von Existenz liegen. In der Tat liefert ein gültiger Erhaltungssatz sicherlich gute Evidenz für die Existenz des jeweiligen Etwas. Die Entdeckung von Erhaltungssätzen, insbesondere für Materie/Energie und das damit einhergehende Verständnis ihrer universellen Natur, ist sicherlich eine große Errungenschaft der europäischen Kultur mit profunden Auswirkungen auf die Gedankenwelt unserer Zeit. Da ein universeller Erhaltungssatz nur für Materie/Energie gilt, ist die Vorstellung nachvollziehbar, ausschließlich materiell/energetischen Dingen Existenz zuzusprechen.

3 Struktur

Exemplarisches Vorgehen kann nie vollständig sein und besitzt immer eine gewisse Willkür. Ich habe mich entschlossen, die Diskussion des Strukturbegriffes in fünf Teile zu gliedern. Im ersten Teil wird auf den historischen Ursprung des Strukturbegriffes bei Aristoteles hingewiesen. Dann wird, sozusagen als Voraussetzung für die weitere Diskussion, die Abbildbarkeit von Struktur beschrieben. Als nächstes wird der enge Begriff der physikalischen Ordnung gegen den sehr viel umfassenderen Strukturbegriff abgegrenzt und veranschaulicht, dass sich zwei wesentliche Eigenschaften von Struktur, nämlich eine Eigenschaft des Systems als Ganzen zu sein und keinem Erhaltungssatz zu unterliegen, beim Ordnungsbegriff wiederfinden. Anschließend wende ich mich der spontanen Entstehung von Struktur zu. Dieses Phänomen ist am besten an Systemen untersucht, die aus sehr vielen gleichartigen Teil(ch)en aufgebaut sind. Entsprechend kommen die Beispiele dieses Unterabschnittes aus dem Bereich der Vielteilchenphysik. Eine andere wesentliche, nämlich die ganzheitsbestimmende Eigenschaft von Struktur lässt sich besser an Systemen demonstrieren, die aus nur wenigen unterschiedlichen Teilen bestehen. Um diese soll es im letzten Teilabschnitt gehen. Dort wird u.a. auch die Frage diskutiert, ob es emergente, im Sinne von nichtableitbaren Eigenschaften von Ganzheiten geben kann.

3.1 Die aristotelische Theorie von Substanz und Form

Die wesentlichen dokumentierten Ursprünge unseres Verständnisses des Strukturbegriffes sowie des Verhältnisses zwischen Struktur und Materie finden sich bei den Griechen. In seinen Schriften zur Metaphysik schreibt Aristoteles (384-322 v.Chr.) in Auseinandersetzung mit den Lehren vor Platon (Buch A, 9.), dass diese Denker den Fehler gemacht hätten, nur körperbehafteten Dingen Existenz zuzusprechen. Im Weiteren setzt er sich vor allem mit der platonischen Ideenlehre auseinander. Platon schreibt den begrifflichen Kategorien bspw. des Menschseins oder des Kreisrundseins eine eigene Existenz getrennt von den Einzeldingen zu und nennt sie Ideen. Im Höhlengleichnis schildert Platon, wie wir die Dinge erkennen, nämlich als schattenhafte, unvollkommene Projektionen der eigentlichen, vollkommenen Ideen. Aristoteles entwickelt demgegenüber eine Theorie von Substanz und Form bzw. Stoff und Gestalt. Er zitiert Demokrit (Buch H, 2.), nach dem sich die Sinnesdinge nicht durch den Stoff, sondern vielmehr durch ihren Rhythmus (ihrer Gestalt nach), der Wendung (der Lage nach) oder der Berührung (der Ordnung nach) unterscheiden. So wird ein Holzbalken durch seine spezielle Lage u.U. zu einer Türschwelle und ein Klumpen Erz durch seine runde Form zu einer Kugel. Offensichtlich kann kein Stoff ohne irgendeine Form, Lage oder Beziehung zu anderen Stoffen existieren, wie auch diese Eigenschaften nicht ohne einen Stoff existieren können. Im Prinzip existieren für Aristoteles somit Stoff und Form in einem komplementären Verhältnis, da das eine ohne das andere nicht möglich scheint.

Leider sind die Schriften zur Metaphysik kein homogenes Ganzes und insbesondere in dieser Auffassung nicht wirklich konsequent. So ist der Klumpen Erz schon vorher zumindest dem "Vermögen" nach eine Kugel und die Gestalt der Kugel existierte ebenfalls schon vorher der "Verwirklichung" nach. Letztlich wird den Formen doch eine eigenständige metaphysische Existenz zugebilligt, die sehr an die platonische Ideenlehre erinnert, wenn die "Verwirklichung" kausal vor das "Vermögen" gesetzt wird. So lautet es in Buch Θ , 7., das Vermögende sei in erster Linie deshalb vermögend, weil es verwirklicht werden kann. Außerdem wird versucht, die Komplementarität von Stoff und Gestalt wieder durch das "sinnlich erfassbare Wesen" aufzuheben, indem gesagt wird (Buch H, 2.), das Wesen existiere einerseits als Stoff, andererseits als Gestalt und Verwirklichung und drittens als das Vereinigte.

Was lässt sich nun davon in unser heutiges (naturalistisches) Weltbild übertragen? Zunächst fällt auf, dass der Fehler der vorplatonischen Denker sich offenbar in unserer heutigen Zeit wiederholt. Der einzige Fortschritt scheint die Verallgemeinerung der stofflichen Materie auf ein Energie-Materie-Gespann zu sein. Billigt man allein dieser neuen "Materie" Existenz zu, dann muss - wie Searle festgestellt hat - der Versuch, eine so verstandene Existenz auf nicht ausschließlich materiell existierende Dinge, wie z.B. das Bewusstsein oder allgemeine Begriffe, zu übertragen, mit einer naturwissenschaftlichen Perspektive scheitern, weshalb Platons Ideenlehre, der Descartesche Dualismus oder die Poppersche Drei-Welten-Lehre unter Naturwissenschaftlern kaum Anhänger fanden.

Aristoteles hat die Lösung dieses Dilemmas mit seiner Theorie der komplementären Beziehung von Stoff und Form vorgezeichnet. Es kommt nur darauf an, sie konsequent auszumalen.

3.2 Die Abbildbarkeit von Struktur

Man könnte vermuten, dass das komplementäre Verhältnis von Struktur und Materie es schwierig macht, über beide getrennt zu sprechen. Die Beziehung zwischen Struktur und Materie ist jedoch alles andere als fest vorgegeben, vielmehr ist sie äußerst lose. Zwar existiert keine Struktur ohne materiellen Träger, dennoch ist die Existenz einzelner Strukturen i.a. nicht an die Existenz bestimmter Materie gebunden. So können bspw. kreisförmige Strukturen von sehr unterschiedlichen Materieansammlungen ausgebildet werden. Ein anderes Beispiel ist das Leben. Als - wie ich sagen würde - strukturbedingtes Phänomen ist es nicht an bestimmte Zellen gebunden, dennoch existiert Leben, wie wir es kennen, ausschließlich zellgebunden. Um dieses Verhältnis zu charakterisieren, möchte ich von loser Koppelung der Struktur an die Materie sprechen, die einen ganz wesentlichen Aspekt von Struktur darstellt und die sich in ihrer Eigenschaft der Abbildbarkeit äußert. Z.B. lässt sich die Struktur eines Staatswesens in ein Flussdiagramm abbilden, die Struktur der Bewegung starrer Körper in ein System gewöhnlicher Differentialgleichungen zweiter Ordnung, die Struktur der Kausalität in die logische Implikation, usw. Man könnte die Naturwissenschaft auch als den Versuch beschreiben, Wege zu finden, um die in der Welt vorkommenden Strukturen auf uns verständliche Strukturen - unter Erhalt ihrer wesentlichen Eigenschaften - abzubilden. Dies gelingt z.T. besser, z.T. schlechter. Die Quantenelektrodynamik ist ein Beispiel für eine Theorie, die eine hervorragende quantitative Übereinstimmung mit bestimmten realen Strukturen erreicht hat. Der Zeitpfeil ist ein Beispiel für eine Struktur unserer Welt, die sich in den Grundgleichungen der meisten physikalischen Theorien bisher nicht niederschlägt.

Das Verdienst von Kant (1724-1804) ist es, darauf hingewiesen zu haben, dass bestimmte von uns in der Welt erkannte Strukturen unserer eigenen Wahrnehmung entspringen. Dazu gehören der einfache dreidimensionale Raum, unsere intuitive Vorstellung von der Superposition von Geschwindigkeiten realer Körper oder, wie wir heute wissen, unsere Modelle von Welle und Teilchen. Dies wird verständlich, wenn man berücksichtigt, dass unsere Wahrnehmung zu wesentlichen Teilen auf neuronalen Abbildungen der Strukturen unseres Mesokosmos beruhen, die im Laufe der Evolution in Wechselwirkung mit diesem Mesokosmos entstanden sind. So bleibt die topologische Information eines Reizes auf der Körperoberfläche oder eines Reizes auf der Netzhaut innerhalb des zentralen Nervensystems erhalten, so dass wir genau lokalisieren können, wo wir berührt werden oder in welcher Richtung wir etwas sehen. Kants Schluss jedoch, wir könnten nur Strukturen erkennen, die unserer unmittelbaren Anschauung zugänglich sind, ist mit den Entdeckungen der modernen Physik widerlegt. Als Beispiele seien hier-

zu die Quanten- oder die Relativitätstheorie angeführt, die experimentell gut bestätigt sind, aber der menschlichen “mesokosmisch” geprägten Anschauung teilweise zuwiderlaufen. Mit Hilfe der Mathematik ist es uns gelungen, auch wesentliche Strukturen des Makro- und Mikrokosmos geeignet abzubilden, so dass wir sie verstehen können.

3.3 Die Abgrenzung zwischen Struktur und Ordnung

Wegen der angesprochenen Schwierigkeiten, die wir offensichtlich damit haben, nichtmateriellen Dingen Existenz zuzuschreiben, zumal sich an diese im Gegensatz zur Materie keine Erhaltungssätze knüpfen lassen, will ich zunächst am physikalischen Begriff der Ordnung demonstrieren, dass dies in diesem Fall allgemein akzeptiert wird. Man könnte versuchen, andere, möglicherweise einfachere Beispiele solcher Begriffe zu finden. Der physikalische Begriff der Ordnung hat jedoch den Vorteil, dass er in einem Atemzug mit Begriffen wie Energie genannt wird und dass er in einem physikalischen Kontext exakt definierbar ist und man entsprechend sicher mit ihm umgehen kann.

Die Definition der physikalischen Ordnung eines Systems setzt voraus, dass die Struktur des Systems bekannt ist, das System also modellhaft beschrieben und entsprechend parametrisiert worden ist. Diese Parameter dürfen nur endlich viele, diskrete Werte annehmen, d.h. die Anzahl der möglichen Zustände des Systems muss abzählbar und endlich sein. Die Abzählbarkeit dieser Mikrozustände wird erst durch die Quantenmechanik verständlich, in der jedes volumenbeschränkte System nur diskrete Energien seiner Teilchen zulässt. Darüberhinaus bedarf es eines im Vergleich zu den Systembausteinen makroskopischen Standpunktes. D.h. es muss eine sinnvolle makroskopische Beschreibung des Systems existieren, die die einzelnen Mikrozustände des Systems unberücksichtigt lassen kann. Das Informationsdefizit zwischen der makroskopischen Perspektive und den möglichen mikroskopischen Realisierungen wird als physikalische Entropie definiert und lässt sich als (eindimensionales) Maß für die Ordnung eines Systems interpretieren. Dabei gilt, je größer die Entropie ist, desto weniger geordnet ist das System. Die berühmte Formel von Boltzmann für die Entropie S eines abgeschlossenen Systems lautet

$$S = k \ln \Omega, \quad (1)$$

wobei k eine Proportionalitätskonstante und Ω die Anzahl der Mikrozustände ist, die einen gegebenen Makrozustand realisieren können.

Als Beispiele mag eine makroskopische Menge eines idealen Gases im thermodynamischen Gleichgewicht dienen. Im Prinzip könnte man ein solches Gas durch eine Beschreibung jedes einzelnen Teilchens erfassen. Die tatsächlichen Zustände der einzelnen Teilchen interessieren jedoch gar nicht. Ganz im Gegenteil hat man festgestellt, dass sich ein ideales Gas im thermischen Gleichgewicht durch nur 3 Parameter makroskopisch befriedigend beschreiben lässt, nämlich durch die Abhängigkeit seiner inneren Energie von Entropie, Volumen und Teilchenzahl. D.h. der Makrozustand des idealen

Gases im thermischen Gleichgewicht wird durch die drei Parameter Entropie, Volumen und Teilchenzahl bezogen auf die makroskopische Theorie vollständig bestimmt. Dieser Makrozustand legt damit die Randbedingungen fest, die der Mikrozustand - gemeint sind die Orts- und Geschwindigkeitskoordinaten aller Gasteilchen - erfüllen muss. Diese müssen so verteilt sein, dass innerhalb der thermischen Fluktuationen die makroskopischen Parameter eingehalten werden. Die Entropie wird dann wie gesehen definiert als proportional dem Logarithmus der Anzahl der möglichen Mikrozustände Ω , die einen gegebenen Makrozustand hervorbringen können.

3.3.1 Zwei Eigenschaften der physikalischen Ordnung

Die so definierte Ordnung eines physikalischen Systems besitzt nun zwei erstaunliche Eigenschaften, die sie deutlich von denen herkömmlicher physikalischer Begriffen, wie Materie oder Energie unterscheidet.

Erstens ist sie in der Regel keine Erhaltungsgröße. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass die Ordnung im Gegensatz zu der Materie/Energie eines (abgeschlossenen) Systems mit der Zeit verloren geht. Sie verliert sich "von selbst" als Resultat eines durch die Systemenergie angetriebenen statistischen Prozesses, an dessen Ende der wahrscheinlichste Makrozustand des Systems steht. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Struktur des Systems, ausgedrückt in seiner Parametrisierung, erhalten bleibt.

Zweitens ist sie eine Eigenschaft des Systems als Ganzen. Während z.B. die Gesamtenergie eines Systems erhalten bleibt, unabhängig davon, ob man es in seine Einzelteile zerlegt oder nicht, ändert sich seine Ordnung u.U. erheblich. Die Energie ist eine Größe, die sich klar den Teilen des Systems zuordnen lässt und deren Gesamtmenge sich durch Summation der Teilenergien ergibt. Die Ordnung hingegen haftet nicht an den einzelnen Teilen, sondern steckt in der Struktur des Systems und diese ändert sich trivialerweise, wenn man das System in seine Einzelteile zerlegt.

Ein bekanntes Beispiel ist das Gibbssche Paradoxon, bei dem zwei mit idealem Gas gefüllte Kammern nur durch eine hauchdünne Membran getrennt werden. Entfernt man diese Membran, durchmischen sich die Gase. Die Energie, das Volumen sowie die Teilchenzahl des Gesamtsystems bleiben unverändert. Das Verhalten der Ordnung des Gesamtsystems hingegen hängt von seiner Struktur ab: war vorher in beiden Kammern dieselbe Gassorte, so ändert sich die Ordnung des Gesamtsystems nicht. Waren unterschiedliche Gassorten in beiden Kammern, nimmt die Ordnung durch Entfernen der Membran und anschließender Durchmischung ab. Der Grund dieses Verhaltens liegt in der Ununterscheidbarkeit der mikroskopischen Teilchen gleicher Sorte. D.h. bei gleichen Gassorten in beiden Kammern lässt sich bei einem Teilchen, das man herausnimmt im Nachhinein nicht entscheiden, aus welcher von beiden Kammern man es genommen hat, unabhängig von einer eventuellen Trennung beider Kammern.

3.4 Strukturbildung in der Physik: Phasenübergänge und globale Instabilitäten

Der Begriff der Ordnung (bzw. Entropie) setzte eine bestimmte Systemstruktur als bekannt voraus und stellt letztlich nur einen eindimensionalen Parameter dar, der einen interessanten, strukturellen Aspekt mancher Systeme beschreibt. In diesem Abschnitt soll darüberhinaus gefragt werden, wie über Systeme gesprochen wird, deren Struktur als solche veränderlich ist, bzw. über Prozesse, in denen Struktur neu entsteht oder vergeht. Die Systeme, an denen solche Vorgänge bisher besonders gut untersucht sind, bestehen aus sehr vielen (in der Größenordnung von 10^{23}) gleichartigen Teilchen von wenigen verschiedenen Sorten. Eigentlich spricht man in diesen Fällen treffender von Musterbildung (Ball, 1999). Vom Standpunkt der Physik lassen sich diese Prozesse der Strukturbildung einteilen in solche, die im thermischen Gleichgewicht und solche, die fernab davon stattfinden.

3.4.1 Strukturbildung im thermischen Gleichgewicht: Phasenübergänge

Ein System ist genau dann im thermischen Gleichgewicht, wenn es den für dieses System unter den gegebenen Bedingungen wahrscheinlichsten makroskopischen Zustand annimmt. Abgeschlossene System sind im thermischen Gleichgewicht, wenn - thermodynamisch gesprochen - ihre Entropie maximal ist. Systeme, die sich gegenüber ihrer Umgebung ausdehnen oder kontrahieren können, sind im Gleichgewicht, wenn ihr Vermögen mechanische Arbeit gegenüber ihrer Umgebung zu leisten - thermodynamisch gesprochen ihre freie Energie - minimal ist. Da jede Systemstruktur eine eindeutige Entropie bzw. freie Energie bedingt und der Fall, dass zwei unterschiedliche Strukturen tatsächlich den gleichen Wert dafür liefern, in der Regel nicht vorkommt, existiert ein Kriterium, mittels dessen man die Systemstruktur, die sich unter den gegebenen Gleichgewichtsbedingungen bilden wird, berechnen kann. Diese Struktur kann sich damit auch zeitlich nicht mehr ändern, abgesehen von statistischen Fluktuationen. Eine Energiezufuhr von außen führt zur Zerstörung dieser Strukturen.

Phänomene der Veränderung von Struktur im thermischen Gleichgewicht nennt der Physiker Phasenübergänge. Werden die Gleichgewichtsbedingungen (z.B. über die Parameter Druck, Temperatur, etc.) quasistatisch verändert, kann eine andere Systemstruktur den wahrscheinlichsten makroskopischen Zustand ermöglichen, es kommt zur Strukturänderung. Dabei gibt es quantitative Phasenübergänge, wie z.B. der Übergang von gasförmigem zu flüssigem Wasser, bei dem sich das makroskopische Modell, d.h. die Systembeschreibung nicht verändert und es gibt qualitative Phasenübergänge, bei denen es sich verändern muss und die im Weiteren betrachtet werden sollen. Da das System überall im thermischen Gleichgewicht ist, ist es einsichtig, dass eine solche Strukturänderung das gesamte System auf einmal betrifft. Wird also ein bestimmter Schwellenwert

eines Kontrollparameters über- bzw. unterschritten, wird das gesamte System auf einmal instabil gegenüber einer globalen Zustandsänderung. Im Phasenübergang divergiert die Korrelationslänge als Maß für die Beziehung verschiedener Teilchen im Phasenübergang, es treten Fluktuationen auf allen Längenskalen von der atomaren bis hin zu der des Gesamtsystems auf.

Ein einfaches Beispiel für einen qualitativen Phasenübergang ist das magnetische Verhalten von Eisen im Temperaturbereich um die sogenannte Curietemperatur. Unterhalb dieser Temperatur zeigt Eisen ferromagnetisches Verhalten, d.h. es lässt sich magnetisieren. Das ist Ausdruck der erst im Rahmen der Quantentheorie zu verstehenden Tatsache, dass die Eisenatome im Kristallgitter als kleine Elementarmagnete aufgefasst werden können und es für diese auf Grund ihrer gegenseitigen Wechselwirkung unterhalb der Curietemperatur wahrscheinlicher ist, sich aneinander kollektiv auszurichten. Oberhalb der Curietemperatur liegt Eisen in seiner paramagnetischen Phase vor, in der es für die atomaren Elementarmagnete keine ausgezeichnete Richtung gibt und sie völlig wahllos und ungeordnet im Kristall vorliegen, weil das nun der wahrscheinlichere Zustand ist. In der Curietemperatur zeigt die Ausrichtung der magnetischen Momente der Eisenatome die erwähnten Fluktuationen auf allen Längenskalen. D.h. das Bild der Ausrichtung, das sich bietet, wird unabhängig vom Betrachtungsmaßstab immer fluktuierende große und kleine Felder gemeinsamer Ausrichtung unterschiedlicher Richtung aufweisen. Bei dem Phasenübergang von der hochtemperatur- bzw. paramagnetischen zur niedertemperatur- bzw. ferromagnetischen Phase geht die Rotationssymmetrie des Festkörpers verloren. Plötzlich ist eine Richtung durch die Ausrichtung der Elementarmagnete ausgezeichnet. Welche Richtung das ist, hängt z.B. von der Richtung eines zum Zeitpunkt des Phasenübergangs anwesenden Magnetfeldes ab, ist also willkürlich. Der Verlust dieser Symmetrie hat zur Folge, dass zur Beschreibung des neuen, jetzt ferromagnetischen Systems ein zusätzlicher Parameter benötigt wird. In diesem Fall ist der neue Parameter, die Magnetisierung, relativ einsichtig. Tatsächlich gibt es jedoch keine allgemeine Möglichkeit von der makroskopischen Beschreibung des höhersymmetrischen Systems auf diesen neuen, einzuführenden Parameter zur Beschreibung des niedersymmetrischen Systems zu schließen, da man mittels der makroskopischen Beschreibung die Art der auftretenden Symmetrieeinschränkung nicht vorhersagen kann. Diesen Vorgang, dass ein System bei einem Phasenübergang an Symmetrie verliert und sich aus den vielen möglichen Zuständen mit geringerer Symmetrie nur einen aussuchen kann, nennt man in der Physik Symmetriebrechung.

Dieses Beispiel zeigt, dass sich die Struktur eines Systems auch bei stetiger Parameterveränderung sprunghaft und gleichzeitig qualitativ ändern kann, so dass die ursprüngliche Beschreibung ungültig wird. Es macht deutlich, dass Struktur erzeugt werden und auch vergehen kann, ohne dass uns dies kontraintuitiv erscheint. Die qualitative Strukturänderung machte eine neue Beschreibung erforderlich, in der auch neue Parameter auftraten. Im beschriebenen Fall kam der neue Parameter der Magnetisierung zur makroskopischen Beschreibung des Systems hinzu. Der erforderliche neue makro-

skopische Parameter konnte nicht allein aus dem bisher zur Verfügung stehenden alten (makroskopischen) Modell und seinen Parametern abgeleitet werden. Die Modifikation des (makroskopischen) Modells stellt damit auf dieser Ebene etwas Neues dar, in dem Sinne, als es aus dem alten Modell weder vorhersagbar noch erklärbar war.

Ein quantentheoretischer Einwand Der bisherigen Erläuterung eines qualitativen Phasenübergangs könnte man entgegenhalten, dass die makroskopische Ebene der Beschreibung physikalischer Systeme per se unvollständig ist. Eine vollständige Parametrisierung eines Systems bedeutet per definitionem, dass alle Eigenschaften von ihm beschrieben werden können und dies ist nur auf der Mikroebene der Fall, d.h. im Rahmen der Quantentheorie. Im Rahmen der Quantentheorie würden die Systeme jedoch mittels der linearen Schrödingergleichung beschrieben. In einem abgeschlossenen Volumen führt diese zu abzählbar vielen Zuständen. Wegen der Linearität lassen sich Zustände und ihre Besetzung voneinander trennen. Damit wären alle möglichen Zustände des Systems von vorneherein bekannt und es könnten die Eigenschaften dieser Zustände von vorneherein bestimmt werden. Allein welchen Zustand das System zu einer gegebenen Zeit einnehme, welcher Zustand letztlich besetzt würde, ließe sich u.U. nicht genau vorhersagen. Aber "Neues" sei durch die Besetzung eines bekannten Zustandes höchstens in einem quantitativen Sinne zu erzeugen. Die Quantentheorie beschreibe damit eine universelle und vollständige Parametrisierung dieser Welt.

Dieser Standpunkt wird v.a. durch die Didaktik der universitären Physik erzeugt, die den einfachen, linearen Problemen (berechtigterweise) außerordentlich viel Raum einräumt. Tatsächlich stellt die Beschreibung der Welt durch eine lineare Gleichung nur eine Näherung dar. So ist Wechselwirkung zwischen verschiedenen Dingen und damit auch von Zuständen ohne Nichtlinearitäten gar nicht möglich. Mit nichtlinearen Wechselwirkungen aber wird der Zustand von der Besetzung abhängig. Da kein allgemeines Verfahren zur Beschreibung nichtlinearer Vorgänge existiert, lassen sich über diese kombinierten Besetzungs-/Zustandsänderungen immer nur von Fall zu Fall Aussagen machen, eine universelle Parametrisierung dieser Welt ist daher auch in der Quantentheorie.

3.4.2 Strukturbildung fern vom thermischen Gleichgewicht: dissipative Strukturen

Nichtgleichgewichtsstrukturen sind, im Gegensatz zu den Strukturen des thermischen Gleichgewichts auf einen Energiefluss durch das System angewiesen. Ohne diesen Energiefluss lösen sich diese Strukturen rasch auf und verflüchtigen sich. Landauer hat dafür 1961 den Begriff der dissipativen Strukturen geprägt.

Ähnlich wie bei qualitativen Phasenübergängen von Systemen im thermischen Gleichgewicht können auch Systeme fern vom thermischen Gleichgewicht global instabil werden. Auch bei der Entstehung solcher Muster treten ausgesprochen langreichweitige Korrelationen zwischen den Teilchen auf, die die charakteristische Teilchengröße des Systems um viele Größenordnungen übersteigen. Im Gegensatz zu Phasenübergängen im thermischen Gleichgewicht, wo die Korrelationslänge nur im Phasenübergang selber singular wird, aber ansonsten in der Größenordnung des mittleren Teilchenabstandes liegt, bleibt das Verhalten der Teilchen im Zustand der Musterbildung kollektiv. Die resultierenden magnetischen Strukturen im Eisen haben eine charakteristische Längenskala, die sich an der Größe der Eisenatome orientiert. Die charakteristische Länge der dissipativen Strukturen hingegen wird durch makroskopische Parameter wie Wärmeleitfähigkeit, Viskosität und Temperaturdifferenz bestimmt und hängt von den atomaren Details nur noch mittelbar ab.

Ein einfaches Beispiel für die Entstehung von dissipativen Strukturen, die sogenannte Rayleigh-Bénard-Konvektion, lässt sich an einer Flüssigkeit beobachten, die sich zwischen zwei horizontalen (unendlich ausgedehnten) Platten befindet, von denen die untere erwärmt wird. Dabei treten zwei konkurrierende Kräfte auf. Einerseits wird die auf der unteren Platte liegende Flüssigkeit erwärmt. Sie dehnt sich aus, verkleinert damit ihr spezifisches Gewicht und ist bestrebt nach oben zu steigen. Andererseits wird sie daran von ihrer eigenen Viskosität behindert. Bleibt die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Platten unter einem charakteristischen Schwellenwert, so behält die Viskosität der Flüssigkeit die Oberhand, und es tritt keine makroskopische Bewegungen auf. Die Wärme wird zunächst ausschließlich durch Konduktion (wie in einem Festkörper) nach oben transportiert. Steigt die Temperaturdifferenz über diesen Schwellenwert, kommt es zur Konvektion. Da die untere Flüssigkeit sich nicht als Ganzes nach oben, genauso wenig wie sich die obere Flüssigkeit als Ganzes nach unten bewegen kann, bilden sich Konvektionszonen aus, in denen sich die Flüssigkeit entweder geschlossen nach oben oder nach unten bewegt - damit erklären sich die extrem langreichweitigen Korrelationen für die Einzelteilchen. Diese Zonen nehmen im beschriebenen Fall einen longitudinalen Verlauf an, d.h. es entstehen walzenförmige Flüssigkeitsströmungen. Damit ist die vorherige Symmetrie des Systems gebrochen. Wird die Temperaturdifferenz weiter erhöht, setzt der sogenannte bimodale Fluss ein, es bilden sich zusätzlich vertikale Walzbewegungen, so dass annähernd quadratische Strömungszellen entstehen. Die Symmetrie des Systems wurde ein weiteres Mal gebrochen. Bei noch höheren Temperaturdifferenzen setzt eine turbulente Form der Konvektion ein, die durch sich ständig verändernde, irreguläre polygonförmige Strömungszellen gekennzeichnet ist. Bei noch höheren Temperaturdifferenzen bricht dann vollständige Turbulenz aus.

Die Hoffnungen von Prigogine und Glansdorf in den 60er Jahren, dass es ähnlich wie für Gleichgewichtsstrukturen auch für Nichtgleichgewichtsstrukturen ein allgemeines Kriterium geben könnte, mittels dessen sich vorhersagen ließe, welche Strukturen sich in einem konkreten System mit mehreren lokal stabilen Zuständen einstellen wer-

den, wurden von Landauer (1975) enttäuscht. Er konnte zeigen, dass zur Feststellung des günstigsten Zustandes nun das System nicht allein in der Umgebung der lokal stabilen Zustände untersucht werden muss, sondern auch bezüglich der Verbindungswege zwischen diesen Zuständen. Eine Folge davon ist, dass wir ein (nichtlineares) System noch lange nicht verstanden haben, wenn wir allein die Gleichungen kennen, die sein Verhalten beschreiben. Es kommt auf die speziellen Lösungen dieser Gleichungen an, für deren Auffinden es keine allgemeine Theorie gibt. In diesem Sinne gehört die Hoffnung auf eine "Weltformel", mittels derer die gesamte Welt erklärt werden könnte, in das Reich der Fabeln.

3.5 Das Verhältnis zwischen dem Ganzen und seinen Teilen

3.5.1 Strukturiertsein als die ganzheitsbestimmende Eigenschaft schlechthin

Man könnte sagen, Strukturiertsein sei eine Eigenschaft eines Systems als Ganzes, etwa wie die vorgestellte Entropie, und würde damit vermutlich wenig Widerspruch erregen. Der bisherige Artikel sollte aber gezeigt haben, dass die Verbindung zwischen dem Begriff der Struktur und dem Ganzen wesentlich enger ist. Ändert sich die Struktur eines Systems, liegt anschließend ein anderes, neues System vor. Unsere Beschreibung des Systems muss sich diesen Veränderungen anpassen, auch wenn es sich immer noch aus denselben Teilen wie vorher zusammensetzt. Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass ohne auf seine Struktur einzugehen, ein System überhaupt nicht sinnvoll beschrieben werden kann. Wie in der Teilüberschrift angedeutet, gehe ich daher einen erheblichen Schritt weiter und zeichne das Strukturiertsein eines Systems als die Eigenschaft aus, die das System als Ganzes in Erscheinung treten lässt. Erst der Strukturbegriff ermöglicht ein sinnvolles Reden über das Ganze. Das Ganze bestimmt sich durch die Struktur, in der seine Teile zueinander stehen. Ohne seine Struktur zu erkennen, lässt sich kein Ganzes erkennen, sondern ausschließlich seine Einzelteile. D.h. das Ganze erkennen ist identisch mit dem Erkennen seiner Struktur.

Die einschlägige Frage nach dem Verhältnis der Teile zum Ganzen, ob es sich dabei nun um eine Summation handelt oder um mehr, lässt sich mit dem Hinweis auf diese Bedeutung von Struktur beantworten: So existiert genau eine Klasse von Systemen, in denen die Summe der Teile tatsächlich das Ganze darstellt. Diese Systeme werden durch ihre wesentliche Eigenschaft charakterisiert, auf eine Gruppe (bspw. der natürlichen Zahlen) abbildbar zu sein, in der eine entsprechende Addition definiert ist. Allein für eine solche Gruppe gilt, dass das Ganze gleich der Summe seiner Teile ist, dass also 4 nur eine andere Schreibweise für $2+2$ (oder $3+1$, etc.) darstellt. Beispiele für solche Ganzheiten sind natürlich trivial, z.B. eine Anzahl Äpfel - solange von allen anderen Eigenschaften außer dem "Apfelsein" dieser Dinge abstrahiert wird.

Folgerichtigerweise lässt sich der obige Gedankengang ausdehnen: Alle Systeme, deren wesentliche Eigenschaften sich auf (mathematische) Strukturen abbilden lassen, zeigen ein entsprechendes Verhältnis zwischen ihren Teilen und dem Ganzen. Wie die Mathematik aufzeigt, stellt die Arithmetik ganzer Zahlen nur einen winzig kleinen möglichen Ausschnitt dar, wie sich Teile zum Ganzen verhalten können.

Die Strukturwissenschaften stellen somit den Schlüssel dar für ein möglichst umfassendes, über unsere unmittelbare Anschauung hinausgehendes Verständnis des Verhältnisses der Teile zum Ganzen.

3.5.2 Beispiele aus der Physik

Jede Eigenschaft eines Teilsystems lässt sich immer nur durch das Studium dieses Teilsystems im Zusammenhang mit anderen Systemen bestimmen. Das hat keineswegs dazu geführt, dem Alles-hängt-mit-allem-zusammen-Prinzip zu verfallen. Ganz im Gegenteil hat es sich bewährt, manche Eigenschaften den Teilsystemen zuzuschreiben und andere nicht. D.h. obwohl man alle Eigenschaften eines (Teil-)Systems nur durch Studium eines Ganzen gewinnen kann, ordnet man manche später allein den Teilen und andere dem Ganzen zu. Die Entscheidung, welche Eigenschaften den Teilen zuzuordnen sind, wird durch die Theorie getroffen. Dieses Verhältnis zwischen den Eigenschaften der Teile und den Eigenschaften des Ganzen soll an einigen Beispielen beschrieben werden.

In der Physik bietet es sich an, möglichst einfache Teilsysteme zu untersuchen, die für diese Betrachtungen ausreichend unzerlegbar sind: Die Elementarteilchen. Elektronen und Protonen (und Neutronen) bilden zusammen die Atome. Lässt sich dieses Phänomen allein aus den Eigenschaften von isolierten Elektronen und Protonen erklären? Die gängige Antwort würde wahrscheinlich lauten: Ja, denn es sei bekannt, dass sich Elektronen und Protonen als gegensätzlich geladene Teilchen anziehen. D.h. die Struktur der Einzelpotentiale (beim Elektron $\sim -\frac{1}{r}$, beim Proton $\sim +\frac{1}{r}$), zusammen mit der quantenmechanischen Beschreibung erkläre das Atomphänomen. Dabei übersieht man jedoch, dass die Eigenschaft beider Teilchen, sich gegenseitig anzuziehen, die für die Erklärung der Atombildung wesentlich ist, keine Eigenschaft isolierter Elektronen oder Protonen ist, sondern bereits eine Eigenschaft von Systemen, in denen beide Teilchen vorkommen. Hätte man Elektronen und Protonen nämlich tatsächlich isoliert untersucht, wüsste man gar nicht, dass sie sich tatsächlich anziehen, dass sie beide Träger derselben Feldgrößen nur mit unterschiedlichem Vorzeichen sind. Dies ist allein aus der Untersuchung von Protonen-Elektronen Systemen bekannt. In der Natur existieren viele verschiedene Qualitäten von Wechselwirkungen: elektrisch, magnetisch, gravitativ, starke und schwache Kernkräfte, die keineswegs offensichtlich miteinander in Beziehung stehen. Die oben angeführte "gängige Erklärung" stellt demnach nichts weiter dar als die Feststellung einer experimentell gewonnenen Eigenschaft gekoppelter Protonen-Elektronen Systeme. Betrachtet man das isolierte Elektron als negativ und das isolierte Proton als positiv

geladenes Teilchen, so hat man bereits einen Teil der Struktur der elektrischen Wechselwirkung, nämlich dass sie zwei entgegengesetzte Ladungen kennt, den Einzelteilchen zugeschrieben.

Dasselbe Phänomen findet sich bei der Eigenschaft von Teilchen mit halbzahligen Spin (sog. Fermionen), niemals gleiche Zustände zu besetzen (dies begründet u.a. das sog. Pauliprinzip der Elektronen) wie auch bei der Eigenschaft von Teilchen mit ganzzahligen Spin (sog. Bosonen) bevorzugt gleiche Zustände zu besetzen (dies macht u.a. den Laser möglich). Auch diese sind Eigenschaften, die sich nur aus dem Studium von Teilchenverbänden gewinnen lassen, weil sie sich immer auch auf andere Teilchen bezieht. Dasselbe gilt für die Ununterscheidbarkeit der Elementarteilchen ein und derselben Sorte.

Es wird angenommen, dass die Elementarteilchen nur endlich viele, tatsächlich sogar nur eine Hand voll Eigenschaften besitzen, die sie voneinander unterscheiden: Masse, Ladung, etc. Dies ist keineswegs selbstverständlich, wie das Beispiel der Mathematik zeigt.

3.5.3 Beispiele aus der Mathematik

Da Strukturiertsein die ganzheitsbestimmende Eigenschaft ist, kommt man nicht umhin, sich das Verhältnis zwischen den Teilen und dem Ganzen in den Strukturwissenschaften direkt anzuschauen. Die Mathematik als typische Strukturwissenschaft besitzt gegenüber den Realwissenschaften den großen Vorteil, dass Ganzheiten durch Definitionen entstehen und damit das Verhältnis zwischen den Teilen und dem Ganzen exakt definiert (im Sinne des Wortes!) ist.

Als “Atome”, d.h. Dinge, die in der Regel nicht weiter definiert werden, lassen sich in der traditionellen Mathematik beispielsweise die natürlichen Zahlen oder auch die Mengen ansehen. Betrachtet man diese “Atome” als Teile, so werden deren Eigenschaften durch wahre Sätze über diese “Atome” festgestellt. Ein mögliches Ganzes ist die Theorie über die “Atome”, also beispielsweise die Zahlentheorie oder die Mengenlehre, die sich in der Mathematik definieren lässt als Menge aller wahren Aussagen über die “Atome” (bezüglich einer formalen Sprache und einem Kalkül für logische Ableitungen).

Die wesentliche Frage, die es zu beantworten gilt, ist nun, ob das so definierte Ganze Eigenschaften besitzen kann, die sich nicht aus den Eigenschaften der Teile ergeben. Anders formuliert: Lassen sich alle wahren Sätze über das Ganze im Prinzip aus den wahren Sätzen über die Teile ableiten, oder gibt es wahre Sätze über das Ganze, die sich prinzipiell nicht aus den wahren Sätzen über die Teile ableiten lassen?

Der traditionelle Standpunkt der Mathematik, der - bewusst oder unbewusst - von der überwältigenden Mehrheit der heutigen Mathematiker eingenommen wird, geht

tatsächlich davon aus, dass jede Aussage über eine mathematische Ganzheit im Prinzip beweisbar oder widerlegbar ist. Entsprechend kann ihr prinzipiell entweder der Wahrheitswert “wahr” oder “falsch” zugewiesen werden, ein drittes gibt es nicht (Tertium non datur). Für die gesamte Mathematik ist dies jedoch nur eine (wenn auch überaus fruchtbare) unbewiesene Annahme.

Ein vorsichtigerer Standpunkt wird von den Intuitionisten (z.B. Heyting, 1966) vertreten. Diese, auf den holländischen Mathematiker Brouwer zurückgehende Richtung der Mathematik, stellt v.a. stärkere Forderungen an die Existenz mathematischer unendlicher Objekte. Vom intuitionistischen Standpunkt kann man mathematischen Objekten Eigenschaften nur insoweit zuschreiben, als sie vom menschlichen Denken erkannt werden können. Da die menschliche Erkenntnis des Unendlichen nur die eines potentiell unendlichen im Sinne eines Immer-noch-Fortschreiten-Könnens ist, lässt sich von der Existenz eines unendlichen mathematischen Objektes nur dann sicher sprechen, wenn garantiert ist, dass beliebig große, endliche Teile dieses Objektes mit zulässigen Mitteln in endlicher Zeit konstruierbar sind. Weiterhin sind sie der Auffassung, dass im Gegensatz zur klassischen Aussagenlogik jede mathematische Aussage zur Beurteilung ihres Wahrheitswertes als mathematischer Satz behauptet werden muss. Dem “Tertium non datur”, das sich klassischerweise in der Tautologie $a \vee \neg a$ (a oder (nicht a)) niederschlägt, entspricht dann die Behauptung dieser Tautologie. Zur Beurteilung des Wahrheitswertes dieser Behauptung ist eine generelle Methode erforderlich, die für jede mathematische Aussage a einen Beweis für a oder $\neg a$ liefert, d.h. die generelle Lösbarkeit jedes mathematischen Problems garantiert. Diese existiert natürlich nicht und damit wird die Gültigkeit des “Tertium non datur” nicht akzeptiert, mit allen Konsequenzen. Die zur Verfügung stehenden Mittel, um Beweise zu führen, werden deutlich schwächer. Beispielsweise ist nun die indirekte Beweisform nicht mehr zulässig, oder die doppelte Negation einer Aussage wird nicht mehr als äquivalent zu ihr selbst angesehen.

Ein Beispiel ist der Satz: “Die Zahlenfolge 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 kommt in der Zahl $\pi = 3.14159265\dots$ vor.” Traditionell ist dieser Satz - unabhängig davon, ob er nun schon bewiesen wurde oder nicht - entweder wahr oder falsch, ergibt sich somit aus der Definition der Zahl π . Intuitionistisch gesehen kann man diesem Satz erst dann einen Wahrheitswert zuweisen, wenn er tatsächlich bewiesen oder widerlegt werden konnte. Es besteht durchaus - bis zum Beweis des Gegenteils - die Möglichkeit, dass sich diese Eigenschaft der Zahl π nicht aus ihrer Definition ergibt, dass das Auftreten dieser Zahlenfolge bei der Bestimmung endlich vieler Stellen von π unvorhersagbar bleibt.

Vom Standpunkt der Intuitionisten bleibt daher die Frage, ob das Ganze Eigenschaften besitzen kann, die sich nicht aus den Eigenschaften der Teile ergeben, offen.

Folgt man den Intuitionisten, so muss der Satz, “Alle Eigenschaften von Ganzheiten sind ableitbar” als unentscheidbar gelten². D.h. insbesondere, dass sich auch kein

²Vollmer (1992) kommt zu demselben Schluß mit der Argumentation, daß in diesem Satz All- mit

Gegenbeispiel finden, er sich also nicht falsifizieren lässt. Folgt man dem traditionellen Standpunkt, dann steht es einem damit frei, sich für die Annahme der Wahrheit dieser Aussage zu entscheiden, oder sie mangels genügender Evidenz als unbewiesen anzusehen. Dies mag zunächst seltsam anmuten, ist jedoch in der Mathematik nicht ungewöhnlich. Ein Beispiel für eine solche grundlegende Aussage ist das sogenannte Auswahlaxiom der Mengenlehre. Man kann Mengenlehre mit oder ohne dieses Axiom betreiben. Im letzteren Fall lassen sich entsprechend weniger Aussagen (z.B. das Zornsche Lemma) beweisen. Wie die intuitionistische Mathematik zeigt, führt die Ansicht, der Satz "Alle Eigenschaften von Ganzheiten sind ableitbar" sei mangels genügender Evidenz als unbewiesen anzusehen, tatsächlich zu starken Einschränkungen. Da sich jedoch zu der Ansicht, alle Eigenschaften von Ganzheiten ließen sich ableiten, keine Widersprüche einstellen können und man damit außerdem sehr viel mächtigere Instrumente zur Hand hat, spricht eigentlich alles für diesen Standpunkt.

Die gödelschen Unvollständigkeitssätze Im Zusammenhang mit der Frage, ob sich die Eigenschaften des Ganzen aus den Eigenschaften seiner Teile ergeben, werden oft die gödelschen Unvollständigkeitssätze ins Spiel gebracht. Diese Sätze sind von großem Interesse für das Verhältnis zwischen den Teilen und dem Ganzen, jedoch in anderer Hinsicht als es meistens dargestellt wird.

Beim Versuch, seine Theorien zu formalisieren, stellt der Mathematiker fest, dass es im Allgemeinen nur einiger Eigenschaften seiner Objekte bedarf, um sie seiner Intuition gemäß zu charakterisieren. Diese grundlegenden, selber nicht mehr beweisbaren Eigenschaften beschreibt er durch Aussagen, die er ob ihrer besonderen Bedeutung als Axiome auszeichnet. Seine Hoffnung ist nun, dass alle weiteren wahren Sätze über seine "Atome", d.h. die gesamte Theorie sich aus diesen Axiomen vollständig ableiten lässt. Eine interessante Frage ist nun, unter welchen Umständen die Hoffnungen des Mathematikers sich erfüllen und er sich sicher sein kann, dass ihm tatsächlich alle relevanten Eigenschaften seiner "Atome" aufgefallen sind; der Mathematiker spricht auch von der Vollständigkeit des Axiomensystems.

Untersuchungen in diese Richtung wurden in der Mathematik motiviert durch das sogenannte Hilbertsche Programm, das sich durch die folgenden vier Forderungen charakterisieren lässt (z.B. Prestel, 1986):

1. Forderung nach einer formalen Sprache, die es erlaubt, alles in der Mathematik übliche zu beschreiben.
2. Forderung nach einem vollständigen System allgemeingültiger logischer Schlüsse.

Existenzbehauptungen verknüpft werden: "Für *alle* Eigenschaften von Ganzheiten *existiert* eine Ableitung". Für den All-Anspruch gibt es nach Vollmer keinen Beweis und für den Existenz-Anspruch keine Widerlegung.

3. Angabe eines vollständigen Systems mathematischer Axiome (Annahmen).
4. Nachweis der Widerspruchsfreiheit des in (1)-(3) angegebenen formalen Systems.

Bei diesem Programm sollte alles finit oder zumindest effektiv erzeugbar sein.

Die ersten beiden Forderungen konnten befriedigend erfüllt werden. Als formale Sprache, in der sich mathematische Sachverhalte formulieren lassen, lässt sich die Mengenlehre verwenden. Die Logik erster Stufe erfüllt die zweite Forderung, d.h. die Hinzunahme weiterer allgemeingültiger logischer Schlüsse zu dieser Logik erlaubt nicht mehr als vorher aus gegebenen Axiomen zu deduzieren. Zur dritten Forderung konnte Gödel jedoch zeigen (z.B. Ebbinghaus *et al.*, 1996), dass es kein vollständiges (effektiv erzeugbares) Axiomensystem für die Mengenlehre - und damit für die Mathematik als Ganzes - und ebenso für die Theorie der natürlichen Zahlen als Teilgebiet der Mathematik geben kann. D.h. es lässt sich kein System aus endlich vielen Aussagen zusammenstellen, das die Ableitung aller wahren Sätze über Mengen bzw. natürlichen Zahlen gestatten würde. Auch die Widerspruchsfreiheit der axiomatisierten Mengenlehre, d.h. Punkt (4), lässt sich nicht mit den geforderten Mitteln zeigen.

Die Unvollständigkeit als Eigenschaft der Zahlentheorie, bzw. der Mengenlehre, besagt damit, dass sich natürliche Zahlen oder Mengen entgegen der menschlichen Intuition nicht mit endlich vielen Eigenschaften charakterisieren lassen. Man kann dieses Beispiel wie die Beispiele aus dem Bereich der Physik (Abschnitt 3.5.2) interpretieren: Studiert man die Teile im Zusammenhang eines Ganzen, d.h. die Mengen oder Zahlen im Zusammenhang ihrer mathematischen Theorie, kann es passieren, dass die untersuchten Objekte gänzlich neue und unvermutete Eigenschaften aufweisen.

Die Eigenschaft der Unvollständigkeit war völlig unvorhersagbar. Obwohl der Mensch seit mehreren tausend Jahren zählen konnte und damit gezeigt hatte, dass er wesentliche Eigenschaften der natürlichen Zahlen intuitiv erfasst hatte, wurde das Problem der Unvollständigkeit erst durch die Formalisierung der Mathematik aufgeworfen. Das lag offensichtlich daran, dass man die Struktur des Ganzen, d.h. der mathematischen Theorie bis dahin nicht gut genug verstanden hatte. Die Unvollständigkeit als Eigenschaft der mathematischen Theorie ergibt sich aus den Eigenschaften ihrer Teile, d.h. sie ist beweisbar. Sie steht jedoch offensichtlich auf einer anderen Ebene als die Aussagen über die mathematischen "Atome", denn sie bezieht sich in ihrem Inhalt nicht mehr auf die "Atome", sondern auf die Aussagen über diese "Atome".

3.5.4 Eine Hierarchie von Eigenschaften

Die Beispiele aus der Mathematik aus Abschnitt 3.5.3 über die Beziehung zwischen den Eigenschaften mathematischer "Atome" und den Eigenschaften deren Theorie zeigen deutlich eine hierarchische Beziehung zwischen den Eigenschaften der Teile und des

Ganzen auf. Niemand käme auf die Idee, gleichzeitig über Eigenschaften von Mengen bzw. Zahlen und Eigenschaften der Theorie der Mengen bzw. Zahlen reden zu wollen. Zwischen den Eigenschaften der Teile und des Ganzen besteht eine Hierarchie, die prinzipiell unüberbrückbar ist. Bei der Entstehung dieser Hierarchie sind keineswegs geheimnisvolle “emergente” Kräfte am Werk. Es handelt sich vielmehr um eine fundamentale Eigenschaft von Ganzheitlichkeit, dass die Eigenschaften der Teile und des Ganzen auf unterschiedlichen Ebenen stehen. Diese Hierarchien der Eigenschaften finden sich überall dort in unserer Welt wieder, wo wir Ganzheiten erkennen und beschreiben. Die Eigenschaften der Teile sind von gänzlich anderer Art, als die der Ganzheiten, was durch einige weitere Beispiele aus den Realwissenschaften erläutert werden soll.

Ein Atom besteht aus den Elementarteilchen Protonen, Neutronen und Elektronen. Es kann im Gegensatz zu seinen Einzelteilen chemische Bindungen eingehen oder polarisiert werden. Große Ensembles von gleichartigen Atomen können makroskopisch in verschiedene Zustände aggregieren: fest, flüssig oder gasförmig und entsprechende makroskopische Eigenschaften von Härte oder Viskosität besitzen. In der naturalistischen Vorstellung ist Leben eine makroskopische Eigenschaft von Systemen, die wir Zellen nennen. Organismen können krank oder gesund sein, können Sozialverbände eingehen, können Bewusstsein entwickeln. Searle (1992) versucht uns davon zu überzeugen, dass Bewusstsein eine Eigenschaft des System Mensch als Ganzes ist. Ist dies tatsächlich der Fall, wie ich ebenfalls meine, so ist klar, dass die Teile, aus denen dieses System aufgebaut ist, über diese Eigenschaften nicht verfügen, es gar keinen Sinn hat, nach dem Bewusstsein einzelner Zellen oder ähnlichem zu fragen. Sozialverbände können eine Geschichte entwickeln, können gesellschaftliche Strukturen hoher Komplexität schaffen - und in Kriegen wieder zerstören, usw.

Daraus folgt auch unmittelbar, dass Wissenschaften, die sich gewöhnlich darin unterscheiden, was sie als Teil und was als Ganzes ansehen, auf ganz verschiedene Eigenschaften “ihrer” Systeme stoßen und ein entsprechend unterschiedliches Vokabular entwickeln, das sich u.U. nicht übersetzen lässt, wenn andere Disziplinen diese Art von Systemen mit den entsprechenden Eigenschaften gar nicht kennen. Die Hierarchie der Eigenschaften von Teilen und Ganzheiten findet sich daher in gewisser Weise in der Hierarchie der wissenschaftlichen Disziplinen der Physik, Chemie, Biologie usw. wieder.

4 Neues

Ein Begriff, der sich ganz wesentlich auf den Teil-Ganze Aspekt von Struktur bezieht, ist der Begriff des Neuen. In diesem und den folgenden Abschnitten soll es um die Frage gehen, welche Konsequenzen sich aus dem oben skizzierten Verständnis des Strukturbegriffes für den Begriff des Neuen ergeben. Dass hier erheblicher Klärungsbedarf besteht, lässt sich an der Diskussion um die sogenannte “Emergenz” erkennen. Tatsache ist, dass

(ganze) Systeme Eigenschaften aufweisen können, die sich nicht in den Teilen wiederfinden (siehe Abschnitt 3.5.4). Als “emergent” werden diese Eigenschaften bezeichnet, wenn angenommen wird, dass sie sich nicht aus dem Zusammenspiel der Teile heraus erklären lassen.

4.1 Nichterklärbares versus Unvorhersagbares

Neues könnte in verschiedenen Formen auftreten. Vollmer (1992) unterscheidet in seiner Auseinandersetzung mit dem Holismus (Un-)Vorhersagbares und (Nicht-)Erklärbares. Bei der Erklärung wird bei bekannter Konklusion nach den Prämissen gesucht, während bei der Vorhersage ausgehend von bekannten Prämissen nach einer (nach Möglichkeit empirisch prüfbar) Konklusion gesucht wird. Häufig wird an der Antwort auf die Frage, ob Neues im Sinne von Nichterklärbarem existiert, d.h. ob es Eigenschaften eines Systems als Ganzen gibt, die sich nicht aus dem Wissen über seine Teile erklären lassen, die Unterscheidung zwischen einer holistischen und einer reduktionistischen Position festgemacht. Diese Zuspitzung halte ich für wenig hilfreich. Denn obwohl wir, wie ich gezeigt habe, keinen Anhalt dafür besitzen, dass es solche Systemeigenschaften gibt, wird in diesem Artikel gerade kein reduktionistischer Standpunkt vertreten. Die ganzheitsbestimmende Eigenschaft von Struktur sollte deutlich gemacht haben, dass sich ein System prinzipiell nicht auf seine Teile reduzieren lässt.

Setzt man eine Erklärung analog einer mathematischen Ableitung, so bedeutet der Glaube an “emergente” Eigenschaften im Sinne von Nichterklärbarem, dass man weit über die in 3.5.3 dargestellte vorsichtige Position der Intuitionisten hinausgeht. Der intuitionistische Standpunkt impliziert nicht, dass es nichtbeweisbare Eigenschaften von Ganzheiten gibt, sondern er beschränkt sich lediglich darauf, dass wir es hier mit einer Annahme zu tun haben, die nicht unbedingt evident ist und bisher auch nicht mathematisch bewiesen werden konnte, ja allem Anschein nach sich nicht beweisen aber auch nicht widerlegen lässt und entsprechend offen bleiben muss. Pragmatisch lässt sich die Annahme, alle Eigenschaften von Ganzheiten seien ableitbar, mit dem Hinweis motivieren, dass man die sonst folgenden Einschränkungen für sinnlos erachtet. Darüberhinaus sollte deutlich geworden sein, dass es solcher “emergenter” Eigenschaften nicht bedarf, um komplexe Phänomene wie Leben oder Bewusstsein zu erklären.

Bleibt allein das Unvorhersagbare, um den Begriff des Neuen sinnvoll auszufüllen. Unvorhersagbarkeit kann viele Ursachen haben. Zuerst natürlich eine unvollständige Kenntnis des betrachteten Systems. Diese kann qualitativer Natur sein, so dass die Parametrisierung des Systems nur unvollständig bekannt ist. Auch bei quantitativer Unkenntnis des Systems, d.h. bei bekannter Parametrisierung sind die Parameter selbst wenigstens teilweise unbekannt, kann das Systemverhalten unvorhersagbar sein, wenn sich das System chaotisch verhält (Bsp. Bewegung von größeren Mehrkörpersystemen). Aber selbst bei vollständiger Kenntnis sowohl der Parametrisierung als auch der Para-

meter kann das Verhalten des Systems für uns unvorhersagbar sein, wenn bspw. eine übergroße Anzahl möglicher Zustände existiert (Bsp. Primzahlensuche, Go-Spiel) oder Zufallsprozesse (Bsp. atomarer Zerfall) beteiligt sind.

Gehen nun alle Arten der Unvorhersagbarkeit mit der Produktion von Neuem einher? Sind alle Arten vergleichbar? Um das Verhältnis der Begriffe der Unvorhersagbarkeit und des Neuen zu klären, will ich mich zunächst einem Bereich zuwenden, in dem Neues exakt definiert werden kann, nämlich als Neuigkeit in der Informationstheorie.

4.2 Neuigkeit in der Informationstheorie oder quantitativ Neues

Die Informationstheorie (Shannon & Weaver, 1949) wird oft missverstanden und überinterpretiert. Das lässt sich gut an einem fragwürdigen Sprachgebrauch des Informationsbegriffes ablesen. So wird fälschlicherweise angenommen, dass im menschlichen Gehirn - ähnlich einem Computer - im Wesentlichen nur Informationen verarbeitet werden; oder es wird bei Betrachtungen über den genetischen Code darüber spekuliert, zu welchem Zeitpunkt man bei biologischen Prozessen im Zusammenhang mit dem genetischen Code davon sprechen kann, dass Informationen auftreten. Die Ursache dieser Unklarheit begründet sich in der oft übersehenen Tatsache, dass die Informationstheorie - wie jede formale Theorie - auf die natürliche Sprache als Kontext angewiesen ist. Nur in einem sprachlichen Kontext lässt sich sinnvoll über Information sprechen. Dort kann man sagen, dass die Übermittlung von Information eine gestellte Frage voraussetzt, die mit einer abzählbar-endlichen und vorher vereinbarten Anzahl N von formal entscheidbaren (und der Einfachheit halber gleichwahrscheinlichen) Alternativen beantwortet werden muss. Formal wird der Informationsgehalt I einer Nachricht in der Informationstheorie definiert als

$$I = \log_2 N \quad (2)$$

Dabei ist zu beachten, dass der Informationsgehalt einer einzelnen Nachricht sich nach dem "Ganzen" richtet, d.h. nach der Anzahl aller möglichen (in diesem Falle gleichwahrscheinlichen) Antwortalternativen. Eine Nachricht als Antwort auf eine Frage, die sich nur auf zweiwertige, gleichwahrscheinliche Alternativen bezog (z.B. ja und nein), hat demnach den Informationsgehalt von $I = \log_2 2 = 1\text{Bit}$.

So gesehen kann man von Informationsverarbeitung im Gehirn nur dann sprechen, wenn man annimmt, dass die Neuronen sich nur in diskreten Zuständen befinden können, etwa im Feuer-, Ruhe- oder im Refraktärzustand, und sich die Struktur des Gehirns nicht verändert. Beide Annahmen stellen grobe Vereinfachungen dar, die im Einzelfall sinnvoll sein können aber nicht müssen. Auch vom Informationsgehalt der Erbsubstanz zu sprechen, setzt die Annahmen voraus, dass tatsächlich nur 4 verschiedene Basen am Aufbau der DNS beteiligt sind, keine anderen Moleküle eingebaut werden und die 4 Ba-

sen nicht nachträglich verändert werden, so dass die möglichen Antworten auf die Frage: “Welche Base steht an Stelle i ?”, nur aus dieser Vierermenge kommen kann. Informationen existieren demnach nur in Bezug auf unsere Theorien und deren vereinfachenden Annahmen, die wir dazu verwenden, uns bestimmte Vorgänge in der Welt zu erklären.

An dieser Stelle möchte ich auf die bekannte Ähnlichkeit zu Gleichung (1), die die Entropie definierte, aufmerksam machen. Auch bei der Entropie kann man davon sprechen, dass an das System eine endliche Menge von Fragen gestellt werden, nämlich nach den Orten und Geschwindigkeiten der Teilchen, und dabei nur endlich viele Alternativen, nämlich die Mikrozustände, als Antwort zugelassen sind. Während in der Informationstheorie, die tatsächliche Auswahl einer Antwortalternative im Vordergrund steht, wird bei der Entropie bewusst von einem Informationsdefizit ausgegangen, bei dem man sich hinsichtlich des Mikrozustandes des Systems nicht genauer festlegt, als dass er mit dem gemessenen Makrozustand vereinbar ist.

Der Informationsgehalt einer Nachricht lässt sich als Neuigkeitsgehalt interpretieren. Enthält eine Nachricht keine “neue” Information, enthält sie genaugenommen gar keine Information. Der Preis, den die Informationstheorie zahlt, um den Begriff der Neuigkeit eindimensional quantifizierbar zu machen, ist hoch. Er besteht in der alleinigen Betrachtung starrer Frage-Antwort-Spiele, bei denen die abzählbar-endlichen Antwortalternativen vorher vereinbart werden müssen. Der Neuigkeitswert der Nachricht liegt dann allein in der Beseitigung der Unsicherheit durch das Eintreffen der zuvor prinzipiell bekannten aber im Einzelnen unvorhersagbaren Antwortalternative. Eine Gefahr, diese Antwort nicht zu verstehen, besteht trivialerweise nicht. Da Information quantifizierbar ist, nenne ich diese Form des Neuen quantitativ.

Dies entspricht im Prinzip der Bekanntgabe eines Systemzustandes bei zuvor schon vollständig bekannter Parametrisierung, mit dem Unterschied, dass Systemparameter keine diskreten Werte annehmen müssen, sondern aus einem kontinuierlichen Bereich stammen können. In diesem Fall ist eine informationstheoretische Antwort auf die Frage: “Wieviel Information enthält nun die Angabe dieses Zustandes?”, nicht mehr möglich. Dennoch würde ich auch diese Form der Neuigkeit wegen ihres quantitativen Charakters als quantitativ bezeichnen.

4.3 Qualitativ Neues

Genau wie der Begriff der Ordnung nur einen Aspekt einer strukturellen Beschreibung eines Systems repräsentiert, möchte ich den Begriff der Neuigkeit in der Informationstheorie als Spezialfall eines allgemeinen Neuheits-Begriffes verstehen.

Um zunächst noch im sprachlichen Kontext eines Frage-Antwort-Spiels zu bleiben: In der Umgangssprache werden die Antworten nicht aus einer vorher vereinbarten An-

zahl von Alternativen ausgewählt. Der Neuigkeitswert einer allgemeinen Nachricht als Antwort auf eine Frage ist daher mit dem strengen Informationsbegriff nicht mehr erfassbar. Die Unvorhersagbarkeit der Antwort liegt nun an der unvollständigen Kenntnis des "antwortenden" Systems. Dieses muss nicht unbedingt lebendig sein. Ein Forscher, der an einen Bereich der Natur eine Frage stellt, kann völlig unvorhergesehene Antworten erhalten. Ob er sie seltsam und unverständlich findet oder sie versteht und dabei qualitativ Neues entdeckt ist offen. Beispiele solcher Fragen, die in diesem Fall auf Einstein zurückgehen und damit bekannter geworden sind, sind u.a.: Was bedeutet eigentlich Gleichzeitigkeit, wenn eine höchste Geschwindigkeit der Signalausbreitung existiert? Oder: Wie muss eine Theorie aussehen, die unabhängig von jedem Bezugssystem gelten soll? Die besondere Begabung solcher Menschen wie Einstein liegt wahrscheinlich weniger in ihrer überwältigenden Intelligenz, als vielmehr in ihren Bestrebungen, die "richtigen" Fragen zu finden und eventuell auch noch die geeigneten Antworten zu liefern. "Richtige" Fragen zu stellen bedeutet, ein überdachtes Problem intuitiv schon angemessen strukturiert zu haben, d.h. einen sprachlichen Zusammenhang geschaffen zu haben, in dem zumindest gewisse Antworten verständlich sein werden. Betritt man tatsächliches qualitatives Neuland, wird dieses Frage-Antwort-Spiel i.a. ein langwieriger, iterativer Prozess werden.

Verlässt man den subjektiven Standpunkt des menschlichen Beobachters, so kann man feststellen, dass Strukturen - ohne einem Erhaltungssatz genügen zu müssen - in dieser Welt permanent und fast unbeschränkt entstehen und vergehen. Dies lässt genug Platz für beliebig viel qualitativ Neues, so dass es den Tag, an dem alles erforscht ist, nicht geben wird. Einzelne Teile können sich immer und überall zu neuen Ganzheiten zusammenfinden, die dann auf Grund ihrer neuen Struktur neue, noch nicht dagewesene Eigenschaften zeigen können. Und sie können sich jederzeit wieder desorganisieren, so dass diese Eigenschaften auf unbestimmte Zeit für die Welt wieder verloren sind.

Ich vertrete also die Ansicht, dass Neues immer dort entsteht, wo prinzipielle Unvorhersagbarkeit ins Spiel kommt. Die Natur des Neuen richtet sich dabei nach der Natur der Unvorhersagbarkeit. Ist diese quantitativer Natur, wie beim Neuigkeitsbegriff der Informationstheorie oder beim quantitativen Phasenübergang, handelt es sich um quantitativ Neues, ist sie qualitativer Natur, ist sie entsprechend ebenfalls qualitativ.

Danksagung: Prof. Gerhard Vollmer und den beiden Gutachtern danke ich herzlich für ihre konstruktiven Anregungen.

Literatur

- ARISTOTELES (384-322 v.Chr.). *TA META TA ΦΥΣΙΚΑ (Metaphysik)*. Übersetzt und Herausgegeben z.B. von Franz F. Schwarz, Reclam Verlag, 1984.
- BALL, P. (1999). *The self-made tapestry: pattern formation in nature*. Oxford University Press.
- CHURCHLAND, P. S. (1986). *Neurophilosophy: towards a unified science of the mind-brain*. MIT Press.
- DESCARTES, R. (1596-1650). *Meditationes de prima philosophia (Meditationen über die Grundlagen der Philosophie)* 1641. Übersetzt und Herausgegeben z.B. von Lüder Gäbe, Meiner Verlag, Hamburg 1977, 2. Auflage.
- EBBINGHAUS, H.-D., FLUM, J. & THOMAS, W. (1996). *Einführung in die mathematische Logik*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 4th ed.
- HEYTING, A. (1966). *Intuitionism, An Introduction*. Amsterdam : North-Holland, 2nd ed.
- HÖRZ, H. (1991). Struktur. In *Philosophie und Naturwissenschaften*, eds. Hörz, H., Liebscher, H., Löther, H., Schmützler, E. & Wollgast, S., pp. 847–849. Dietz, Berlin, 3rd ed.
- KAMLAH, W. & LORENZEN, P. (1973). *Logische Propädeutik, Vorschule d. vernünftigen Redens*. BI Hochschultaschenbücher Bd. 227.
- KANT, I. (1724-1804). *Kritik der reinen Vernunft* 1781. Hartknoch, Riga. Neuauflage z.B. 1985 im Reklam Verlag, Stuttgart.
- KWIAT, P., WEINFURTER, H., HERZOG, T., ZEILINGER, A. & KASEVICH, M. A. (1995). Interaction-free measurements. *Physical Review Letters* **74**, 4763–4766.
- KWIAT, P., WEINFURTER, H. & ZEILINGER, A. (1997). Wechselwirkungsfreie quantenmessung. *Spektrum der Wissenschaft* **1**, 42pp.
- LANDAUER, R. (1975). Inadequacy of entropy and entropy derivatives in characterizing the steady state. *Physical Reviews A* **12**, 636.
- POPPER, K. & ECCLES, J. C. (1977). *The Self and its Brain - An Argument for Interactionism*. Springer Verlag Heidelberg, Berlin, London, New York.
- PRESTEL, A. (1986). *Einführung in die Mathematische Logik und Modelltheorie*. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig.
- SCHMAHL, F. & VON WEIZSÄCKER, C. (2000). Moderne Physik und Grundfragen der Medizin. *Deutsches Ärzteblatt* **97**(4), A–165.

- SCHMIDT, H. & SCHISCHKOFF, G. (1982). *Philosophisches Wörterbuch*. Alfred Körner Verlag, Stuttgart.
- SEARLE (1992). *The rediscovery of mind*. MIT Press.
- SHANNON, C. E. & WEAVER, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, University of Illinois Press.
- VOLLMER, G. (1992). Das Ganze und seine Teile, Holismus, Emergenz, Erklärung und Reduktion. In *Wissenschaftstheorien in der Medizin, ein Symposium*, eds. Deppert, W., Kliemt, H., Lohff, B. & Schaefer, J., pp. 183–223. De Gruyter. Auch in “Auf der Suche nach Ordnung; Beiträge zu einem naturalistischen Welt- und Menschenbild”, Hirzel Verlag Stuttgart 1995.
- VOLLMER, G. (1994). Was ist Naturalismus? eine Begriffsverschärfung. *Logos* **1**, 200–219. Auch in “Auf der Suche nach Ordnung; Beiträge zu einem naturalistischen Welt- und Menschenbild”, Hirzel Verlag Stuttgart 1995.