

Information – Entropie – Evolution Zeit als „Informationsstrom“

[165 - 169]

2. Was ist Information?

Was bedeutet die Frage: »Was ist Information?«? Was für eine Antwort können wir erhoffen?

»Information« ist ein Fundamentalbegriff der heutigen Wissenschaft. Formal fragen wir nach einer expliziten Definition dieses Begriffs, inhaltlich also wohl nach dem Wesen der in ihm gemeinten Sache. Für einen fundamentalen Begriff eine präzise Definition zu geben, kann nicht leicht sein. Er müßte dadurch auf noch fundamentalere Begriffe zurückgeführt werden; diese Rückfrage endet im Undefinierbaren. Fragen wir z. B.: »Was ist Materie?«, so wird die Antwort zunächst fast nur lauten können: »Sage mir, welcher Philosophie du anhängst, und ich werde dir sagen, wie du Materie definieren mußt.« Auf solche Fragen kommen wir im dritten Teil des Buches zurück.

Es könnte freilich scheinen, als sei das Problem im Falle des Informationsbegriffs einfacher. Er ist vor wenigen Jahrzehnten durch explizite Definition in die Wissenschaft eingeführt worden. Im Abschnitt 4 dieses Kapitels werden wir diese Definition näher besprechen. Jetzt sei nur an ihren Grundgedanken erinnert. Sie erklärt den Begriff der Information durch den Begriff der Wahrscheinlichkeit. Man kann den Informationsgehalt eines Ereignisses als ein quantitatives (logarithmisches) Maß der Unwahrscheinlichkeit seines Eintretens bezeichnen. Diese Erklärung führt aber zu zwei weiteren Fragen:

1. Was ist Wahrscheinlichkeit im Sinne dieser Definition?
2. Trifft die Definition die Verwendung, die wir in der Praxis vom Informationsbegriff machen?

Zu 1.: Die Frage »Was ist Wahrscheinlichkeit?« haben wir im 3. Kapitel behandelt. Die philosophische Debatte lehrt uns wenigstens drei wesentlich verschiedene Auffassungen der Wahrscheinlichkeit kennen: die logische, die empirische und die subjektive. Wir haben die Wahrscheinlichkeit, ausgehend von der zeitlichen Logik, als Vorhersage einer relativen Häufigkeit definiert. Die Frage, wie diese Definition mit den drei genannten Auffassungen zusammenhängt, haben wir auf ein späteres Buch verschoben. Wir können jetzt nur sagen: Wenn Wahrscheinlichkeit die relative Häufigkeit eines Ereignistypus mißt, so bedeutet hoher Informationsgehalt des Typus, daß er selten vorkommt. Wer ihn antrifft, erfährt etwas Nichtselbstverständliches, eben »viel Information«. So haben wir in 4.3 den Informationsbegriff benützt, um den Begriff des Dokuments zu erklären.

Zu 2.: Da der Begriff der Wahrscheinlichkeit philosophisch ungeklärt war, ist naturgemäß auch eine inkonklusive philosophische Debatte über den Informationsbegriff entstanden. Man konnte zunächst relativ leicht sagen, was Information nicht ist. Eine Informationsmenge ist offenbar weder eine Materiemenge noch eine Energiemenge; andernfalls könnten winzige Chips im Computer wohl nicht Träger sehr großer Information sein. Information ist aber auch nicht einfach das, was wir subjektiv wissen. Die Chips im Computer, die DNS im Chromosom enthalten ihre Information objektiv, einerlei, was ein Mensch gerade davon weiß. Im Rahmen des in der Naturwissenschaft verbreiteten cartesischen Dualismus fragte man, ob Information Materie oder Bewußtsein sei, und erhielt die zutreffende Antwort: keines von beiden. Manche Autoren bezeichneten sie dann als »eine dritte Art der Realität«.

Wir werden die positive Antwort wählen: Information ist das Maß einer Menge von Form. Wir werden auch sagen: Information ist ein Maß der Gestaltenfülle. Form »ist« weder Materie noch Bewußtsein, aber sie ist eine Eigenschaft von materiellen Körpern, und sie ist für das Bewußtsein wißbar. Wir können sagen: Materie hat Form, Bewußtsein kennt Form. Was diese kurzen Formeln in der Praxis bedeuten, werden wir

im jetzigen Kapitel im Durchgang durch eine Reihe von Problemen erörtern. Wir verlangen vom Leser vorweg nicht die Zustimmung zu unserer Erklärung der Information als Formmenge im Sinne einer »philosophischen Wahrheit«, sondern appellieren zunächst nur an sein Verständnis für eine bequeme Ausdrucksweise. Je mehr Entscheidungen an einem Objekt getroffen werden können, desto mehr »Form« in einem allgemeinen, nicht notwendigerweise räumlichen Sinne des Worts kann man an ihm erkennen. Diese Formmenge ist, wie soeben gesagt, Eigenschaft des Objekts und für uns wißbar. Was Form philosophisch bedeutet, darauf kommen wir im Kapitel 12 zurück.

Im jetzigen Kapitel werden wir u.a. die Beziehung der Information zu vier anderen Begriffen zu klären haben: zu den Begriffen der Entropie, der Bedeutung, des Nutzens und der Evolution.

Den Begriff, den man später »Information« nannte, hat Shannon ursprünglich unter dem Namen »Entropie« definiert. Wir werden diese Gleichsetzung noch einmal rechtfertigen und insbesondere die Beziehung zwischen den Vorzeichen von Entropie und Information aufklären. Positive Entropie ist potentielle (oder virtuelle) Information. Die Entropie eines Makrozustandes mißt die Gestaltenmenge, welche derjenige kennen müßte, der den zugehörigen Mikrozustand angeben wollte. Ob man die Entropie als Maß der Gestaltenfülle oder der Unordnung bezeichnen will, ist also lediglich eine Unterscheidung verschiedener Grade des Wissens. Die auf meinem Schreibtisch gestapelte Menge beschriebenen und bedruckten Papiers ist, wenn ich weiß, was wo auf den Papieren steht, eine außerordentliche Gestaltenfülle; wenn ich (oder die Putzfrau) es nicht weiß, so ist sie Unordnung.

3. Was ist Evolution?

Als Evolution bezeichnet man vorzugsweise die Herausbildung der Gestaltenfülle des organischen Lebens im Laufe der Erdgeschichte. Die Herausbildung einer Fülle von Gestalten ist freilich nicht auf den Gegenstandsbereich der Biologie beschränkt. Einerseits gibt es eine reiche spontane Gestaltenbildung im Anorganischen; heute unter den allgemeinen Kategorien der Synergetik (Haken 1978) mitumfaßt. Andererseits schafft auch die menschliche Kultur immer neue Gestalten. Evolution als Vorgang umfaßt die ganze Wirklichkeit, die wir kennen. Sie bedarf also auch einer umfassenden Erklärung.

Ein Unbehagen über die Möglichkeit einer kausalen Erklärung funktionaler Formen ist aber bei manchen Wissenschaftlern zurückgeblieben. Wir diskutieren dieses Unbehagen in der verbreiteten Gegenüberstellung von Irreversibilität und Evolution. Es ist, wie oben gesagt, üblich, Entropie als ein Maß der Unordnung und damit die thermodynamische Irreversibilität als ein Anwachsen der Unordnung aufzufassen. Evolution hingegen wird als Wachstum der Gestaltenfülle und insofern von Ordnung verstanden. Unter diesen Prämissen mußte die Evolution als ein der thermodynamischen Irreversibilität entgegengesetzter Vorgang empfunden werden. Hier soll nun eben die genau entgegengesetzte These vertreten werden. Unter geeigneten Prämissen ist Entropiewachstum identisch mit dem Wachstum der Gestaltenfülle; Evolution ist ein Spezialfall der Irreversibilität des Geschehens.

[174 - 179]

5. Evolution als Wachstum potentieller Information

a. Grundgedanke. Organische Evolution ist die Herausbildung funktionaler Gestalten. Die Mechanismen, die dieses leisten, sind von den biologischen Evolutionstheoretikern vielfach studiert worden. Diese Überlegungen überschreiten bei weitem den Rahmen eines Buchs über den Aufbau der Physik. Der jetzige Abschnitt setzt sich ein bescheideneres Ziel. Er studiert lediglich das Wachstum potentieller syntaktischer Information, also nicht von speziell funktionalen Gestalten, sondern von zählbaren Gestalten überhaupt. Dieses Wachstum läßt sich in einem Modell relativ leicht mathematisch beschreiben. An dem Modell läßt sich dann demonstrieren, daß unter geeigneten Voraussetzungen gestaltenreichere Zustände zugleich die wahrscheinlicheren sind. Unter diesen Voraussetzungen ist das Wachstum der Gestaltenfülle der thermodynamischen Irreversibilität nicht entgegengesetzt, sondern ein Spezialfall von ihr.

Die These ist nur, daß dort, wo Gestaltentwicklung tatsächlich vorkommt, bei genauer Definition der zugehörigen Entropie dem Wachstum der Vielzahl und Komplexität der Gestalten ein Wachstum und nicht eine Abnahme desjenigen Summanden der Entropie entspricht, der der Gestaltinformation zugeordnet ist. Der Eindruck eines Konflikts zwischen Gestaltentwicklung und zweitem Hauptsatz ist, wenn diese These richtig ist, nur die Folge einer im allgemeinen unzutreffenden, aus einigen Beispielen verallgemeinerten Gleichsetzung der Entropie mit einem Maß gestaltenarmer Gleichförmigkeit. Der Wärmetod wäre, hinreichend niedrige Temperatur vorausgesetzt, nicht ein Brei, sondern eine Versammlung von komplizierten Skeletten.

Diese These ist die korrigierende Durchführung eines älteren Gedankens [*Geschichte der Natur*, 1948]. Ausgehend von der Entwicklung kosmischer Gestalten, insbesondere des Planetensystems, hatte ich die Frage ihres Verhältnisses zum zweiten Hauptsatz diskutiert. Auch wenn wir über das richtige Modell der Planetenentwicklung ungewiß sind, wird doch kein heutiger Astrophysiker zweifeln, daß der Vorgang mit dem zweiten Hauptsatz vereinbar war; andererseits ist die Gestalt des Systems so speziell und »kunstreich«, daß ihre mutmaßliche mechanische Unerklärbarkeit einst für Newton die Basis eines Gottesbeweises — des Beweises der Existenz eines planvoll arbeitenden Ingenieurgottes — war. Ich habe nun damals die Meinung ausgesprochen, daß ganz allgemein die Entwicklung differenzierter Gestalten eine Folge genau derselben »Zeitstruktur« sei wie der zweite Hauptsatz. Ganz abgekürzt kann man sagen: Beide Entwicklungsgesetze besagen, daß das Wahrscheinliche eintreten wird. Zeitstruktur (»Geschichtlichkeit der Zeit«) kann dieser Sachverhalt heißen, weil das Wahrscheinliche für die Zukunft erwartet, nicht aber für die Vergangenheit behauptet wird. Für den zweiten Hauptsatz ist die Deutung, daß wachsende Entropie das Eintreten des Wahrscheinlichen sei, geläufig. Für die Gestaltentwicklung muß man sich überlegen, daß eine Vielzahl von Gestalten a priori wahrscheinlich, ein völlig gestaltloser Zustand hingegen a priori unwahrscheinlich ist.

[390 - 392]

Aus unserem Theorem läßt sich nun die Hypothese eines radikalen Atomismus entwickeln. In der unpräzisierten Sprache des klassischen Atomismus könnte man ihr die Form geben: Jedes Objekt ist in die kleinsten überhaupt möglichen Objekte zerlegbar. Man sieht freilich sofort, daß die Sprache der klassischen Räumlichkeit dem gemeinten Gedanken nicht adäquat ist. Was sollen »kleinste überhaupt mögliche Objekte« sein? Man stürzt in die in 6.2b, 6.4 und 7.1 erörterten Schwierigkeiten einer fundamentalen klassischen Kontinuums Physik. Die Quantentheorie vermeidet dieses Problem. Wir haben die Quantentheorie vom Begriff der Alternative aus aufgebaut. Alternativen sind diskret. Die kleinste Alternative, die noch eine Entscheidung bedeutet, ist die binäre (zweifache) Alternative, $n = 2$. Die »kleinste« Alternative ist sie im Sinne des Informationsgehalts; ihre Entscheidung liefert, wenn kein Vorwissen vorhanden war, gerade 1 bit. Man sieht, daß hier jede Vorstellung räumlicher Kleinheit fernzuhalten ist; ein Teilchen in sehr kleinem Raum zu lokalisieren, verlangt gerade sehr viele Ja-Nein-Entscheidungen.

Definition. Die binären Alternativen, aus denen die Zustandsräume der Quantentheorie aufgebaut werden können nennen wir Uralternativen. Das einer Uralternative zugeordnete Subobjekt nennen wir ein Ur.

Kommentar. Die Quantentheorie modifiziert auch die Vorstellungen vom zeitlichen Verhalten der elementaren Gegenstände. Das Atom des klassischen Atomismus sollte ein Substanz im strengen Sinne sein: unentstanden, unteilbar, unvergänglich. Das Elementarteilchen der heutigen Physik hat noch eine gewisse zeitliche Identität mit sich. Aber Elementarteilchen können sich ineinander umwandeln. Das Ur ist durch eine einfache Alternative definiert, die, gemäß der obigen Folgerung der variablen Alternativen, entstehen und vergehen können muß. Die Wiedererkennbarkeit seiner Zustände ... verlangt freilich, daß sein Zustandsraum so lange, als die definierende Alternative aktual besteht, unter der Dynamik invariant ist. Das sollen die nachfolgenden Postulate garantieren.

Der Informationsstrom in der Quantentheorie - Die Zeit ist selbst das Sein. G. Picht-

Die klassische Physik hat die Frage nach der Substanz nicht voll beantwortet. Zwar bleibt die Energie erhalten. Aber was zeichnet sie vor anderen Integralen der Bewegungsgleichungen aus? Nur im ersten Hauptsatz der Thermodynamik (6.5) spielt diese Auszeichnung eine zentrale Rolle. Dort bleibt sie aber ein bloßes, für die Theorie nicht konstitutives Postulat. Auch andere Erhaltungsgrößen sind thermodynamisch interessant. Der harte Kern der Thermodynamik ist der zweite Hauptsatz mit der ausgezeichneten Größe der Entropie, d. h. der Information.

Andererseits ist die Energie eine bloße Zustandsgröße. In der Punktmechanik z.B. ist sie eine zeitlich konstante, aber vom Anfangszustand abhängige Eigenschaft eines Systems von Massenpunkten. Als die »Substanzen« würde man in ihr die Massenpunkte selbst auffassen; analog in der klassischen Chemie die Atome. Erst die Umwandlung der »Substanzen« ineinander, so in der klassischen Thermodynamik der chemischen Verbindungen oder in der heutigen Physik der Elementarteilchen, hebt die Energie als das dabei Unveränderliche heraus. Da schon die chemischen Umwandlungen nur quantentheoretisch erklärt werden können, sind wir daher mit der Frage nach der Substanz auf die Quantentheorie verwiesen. In ihr aber sind offenbar weder die Atome noch die Elementarteilchen das Unwandelbare. Unsere Frage führt uns also weiter in die noch nicht geschehene Vollendung der Physik elementarer Objekte.

Der abstrakte Aufbau der Quantentheorie legt nahe, die Information als das Zugrundeliegende und insofern als die Substanz aufzufassen. Dabei kümmert uns zunächst nicht, ob die Quantität der Information zeitlich erhalten bleibt, sondern daß sie im begrifflichen Aufbau das Fundament bildet und insofern den Begriffen von Objekten und deren Erhaltungsgrößen zugrunde liegt. Wir beginnen ja mit Alternativen. Eine 2^k -fache Alternative aber ist k bits potentielle Information. Das Ur ist dann ein »Atom der Information«. Wollen wir aber der Information eine so fundamentale Rolle geben, so sollten wir sicher sein, wie sie definiert ist.