

FRITZ-ALBERT POPP

## BEWUSSTSEIN ALS EIGENSCHAFT KOHÄRENTER ZUSTÄNDE

Fritz-Albert Popp, geboren 1938 in Frankfurt a. M., studierte in Würzburg Experimentalphysik, promovierte an der Universität Mainz in Theoretischer Chemie (Quantentheorie von Vielteilchensystemen) und habilitierte in Marburg auf dem Gebiet der Biophysik. In den Jahren 1972–1980 war er Dozent für Radiologie an der Universität Marburg und leitete danach verschiedene Forschungsgruppen in der Industrie. 1983–1985 arbeitete Popp am Institut für Zellbiologie der Universität Kaiserslautern, von 1986 bis heute am Technologiezentrum und im Technologiepark Kaiserslautern. Hier gründete er das heute in Neuss ansässige Internationale Institut für Biophysik, dessen Vizepräsident er seit 1985 ist. Popp lehrt als Gast- bzw. Honorarprofessor an Universitäten in den USA, China, Indien und Deutschland und ist Autor vieler Publikationen, u. a. zu Problemen der Biophysik, Ganzheitsmedizin und Evolutionsbiologie.

Popp ist u. a. eingeladenes Mitglied der New-York-Akademie der Wissenschaften und der Russischen Akademie der Naturwissenschaften (RANS).

Der vorliegende Beitrag ist eine Zusammenfassung seiner zehnjährigen Tätigkeit im ICRL (International Consciousness Research Laboratory) an der Princeton-Universität (USA).

### 1. Wege zur Definition des „Bewusstseins“

Jede Aussage über „Bewusstsein“ muss solange im Prinzip wertlos bleiben, wie „Bewusstsein“ nicht definiert ist. Eine solche Definition gibt es bis heute nicht.<sup>1</sup> Viele glauben zu wissen, was „Bewusstsein“ ist. Doch vor allem der „subjektive“ Charakter des Begriffes, der die eindeutige Definition und Quantifizierung nicht zuzulassen scheint, verhindert allein schon auch nur Bemühungen, „Bewusstsein“ überhaupt zu definieren. Um die Schwierigkeiten verständlich zu machen, möchte ich beispielhaft an den Begriff „Energie“ erinnern, der ursprünglich vieldeutig verwendet wurde und selbst heute noch in breiten Kreisen mit Begriffen wie „schöpferische Energie“, „kriminelle Energie“, „Lebens“-Energie verschiedenen Deutungen zugeordnet wird.

1 M. LIPKIND: Definition of Consciousness (2002).

Während „Energie“ ganz allgemein jedoch mit der Fähigkeit assoziiert werden kann, gegen bestimmte Widerstände „Arbeit“ zu leisten, mag Bewusstsein mit der Eigenschaft in Zusammenhang gebracht werden, die „Realität“ aktiv wahrzunehmen, was immer auch unter „Realität“, „aktiv“ und „Wahrnehmung“ zu verstehen sein mag. Der entscheidende Unterschied des „Bewusstseins“ zu physikalischen Begriffen, wie „Energie“ oder „Arbeit“, ist aber der ausschließliche Bezug des Terms „Bewusstsein“ zu einem „Subjekt“, also zu dem so genannten „Beobachter“, der, wie wir wissen, in der klassischen Physik kategorisch ausgeschlossen wird. Bemerkenswert ist, dass die physikalisch exakte Definition der Energie, die schließlich unter Umgehung des „Beobachters“ objektiviert werden konnte, dramatische Fortschritte in Wissenschaft und Technik in Gang setzte, ohne dass in der Umgangssprache oder einigen Zweigen der Lebenswissenschaften der Anspruch auf Einhaltung der exakten Definition nötig war. In der Physik selbst wurde die exakte Definition dann aber konsequent eingehalten, um die Spielregeln der Wissenschaftlichkeit, nämlich Objektivierbarkeit und damit auch Reproduzierbarkeit unter keinen Umständen zu verletzen. Während so in den Naturwissenschaften alle Begriffe objektiv und reproduzierbar zu quantifizieren sind, muss der Begriff „Bewusstsein“ selbst nach der denkbar besten Definition seinen ausschließlich subjektiven Charakter beibehalten, da er allein nur von dem „Beobachter“ wahrgenommen und als existent bestätigt werden kann. Zwar hat die Quantentheorie die Ausschließbarkeit des Beobachters in der Physik erschüttert. Daraus hat sich aber noch lange keine Umkehr in der Forderung ergeben, auf die „Objektivierbarkeit“ in der Wissenschaft ganz oder auch nur teilweise zu verzichten. Es erscheint uns wichtig, diese Aspekte zu erwähnen, bevor wir uns mit der Definition des Bewusstseins überhaupt weiter beschäftigen.

## 2. Quantentheorie und Bewusstsein

Bekanntlich vereinigen sich je zwei Wasserstoffatome zum stabilen Wasserstoffmolekül (Abb.1).

Als Ursache wird der ständige Platztausch der beiden Valenzelektronen erkannt, die wegen ihrer Identität grundsätzlich nicht unterschieden werden können und deshalb aus rein erkenntnistheoretischen Gründen nicht allein jeweils nur einem der beiden Atome (oder Umlaufbahnen eines der beiden Atome) zuzuordnen sind.<sup>2</sup> Die aus statistischen Gründen denknot-

wendige und gleich anteilige Zugehörigkeit jedes Valenzelektrons zu jedem der beiden Atome führt zu einer attraktiven Kraft zwischen den beiden Atomen, die zur Erhaltung der Stabilität des Moleküls notwendig ist und im Vergleich zur Instabilität des di-atomaren Zustands nur so auch quantitativ absolut korrekt erklärt und beschrieben werden kann.

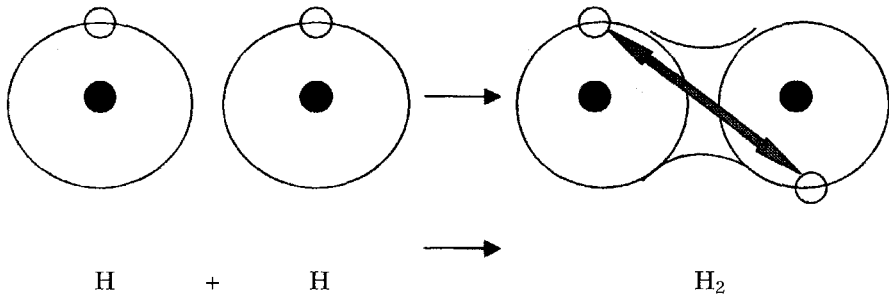


Abb. 1: Bei der Vereinigung der beiden Wasserstoff-Atome zum Wasserstoff-Molekül sorgt der permanente „Platztausch“ der Valenzelektronen für die Stabilität des Moleküls.

Das Erstaunliche an dieser Situation ist der aus Gründen der Ununterscheidbarkeit von Elementarteilchen notwendige ständige Platztausch der beiden Elektronen. Es erscheint absurd, dass den primitivsten Formen der Materie die ungewöhnliche „intelligente“ Fähigkeit zuzubilligen ist, ihre Plätze ständig vertauschen zu können. Woher „wissen“ die Elektronen, dass sie identisch sind, damit sie die ungewöhnliche Funktion übernehmen, sich ständig gegenseitig zu ersetzen? Selbstverständlich trifft diese Vertauschbarkeit in gleicher Weise für *alle*, per definitionem identischen, Elementarteilchen der Welt zu, wenngleich die Austauschkräfte mit wachsendem Abstand abnehmen und deshalb nicht so entscheidend in die Stabilitätsbetrachtungen eingehen wie im Fall interner molekularer Bindungen. Immerhin zwingt uns die Nicht-Unterscheidbarkeit der Elementarteilchen in kurioser Weise exakt zur gegenteiligen Anschauung über die „Realität“, wie sie vom Atombegriff des DEMOKRITOS ursprünglich zunächst erwartet war: Anstelle der Separation und Lokalisierung der Atome in immer kleinere unabhängige und submikroskopische Einheiten entsteht die „Realität“ als globales Netzwerk sich ständig ersetzender, höchst „intelligenter“ ununterscheidbarer Untereinheiten. Jede Abtrennung lokaler Anteile ist mit Ungenauigkeiten verbunden, die in der alltäglichen Praxis oft bedeutungslos sein mögen, in Einzelfällen molekularer Stabilität

die „Realität“ aber überhaupt nicht zu beschreiben gestatten, und im Prinzip nie. Mit anderen Worten: Die „Realität“ befriedigt nicht etwa die verständliche und „realistische“ Skepsis, dass Elementarteilchen nun einmal überhaupt nicht wissen können, dass sie identisch sind, und dass sie deshalb unmöglich ständig ihre Plätze vertauschen können, sondern sie überwindet stringent das Unvorstellbare, das sich aus dem Dilemma der grundsätzlich notwendigen Forderung nach der Identität der Elementarteilchen und ihrer erst dadurch hervorgerufenen Kollektiv-Intelligenz scheinbar ergibt. Die „Realität“ kann, wie dieses Beispiel zeigt, nicht toleriert werden als „Erfahrungstatsache“ unter Verzicht auf den Anspruch, im Zweifelsfall Ungereimtheiten des „Bewusstseins“ bei der Wahrnehmung eben dieser Realität zu akzeptieren, sondern nur als logisch konsistente Schöpfung dieses „Bewusstseins“ in seiner Funktion, die „Welt der Fakten“ mit der „Welt der Möglichkeiten“ in Einklang zu bringen. Das geht, wie das Beispiel zeigt, so weit, dass das, was zwingend „logisch“ erscheint, „tatsächlich“ auch stattfindet, ungeachtet unserer „makroskopischen“ täglichen Erfahrungen. Selbstverständlich kann durch Verzicht auf die Vorstellung exakt lokalisierbarer identischer Elementarteilchen der Widerspruch zwar scheinbar überwunden werden, aber nur unter Inkaufnahme nicht-lokaler Subeinheiten des Universums als Elemente einer „Realität“, die uns dann mindestens die gleichen Verständnisprobleme beschert. Immer ergibt sich in der Konsequenz die befremdliche Vorstellung, dass die „Realität“ als Welt „zwingender“ Möglichkeiten zu verstehen ist. Notwendig ist und bleibt die Folgerung, dass es eines ständigen „Dialogs“ zwischen der „Realität“ und dem „Bewusstwerden“ dieser Realität bedarf, und dass dieser Dialog erst dann zu keinen neuen, überraschenden Ergebnissen mehr führt, wenn grundsätzlich nicht mehr entschieden werden kann, ob die Realität als notwendiges Resultat denkbarer Möglichkeiten, oder ob umgekehrt die allein nur subjektiv erfassbaren „Möglichkeiten“ als Folge einer vorgegebenen objektiven „Realität“ aufzufassen sind. Es findet eine bestimmte Vor- und Rück-Transformation zwischen der Welt der Tatsächlichkeiten (aktuelle Information) und der Welt der Möglichkeiten (potentielle Information) statt. Diesen Prozess wollen wir vorläufig – bis zu einer möglichen Korrektur – als „Bewusstsein“ bezeichnen (Abb. 2).<sup>3,4,5</sup>

3 F. A. POPP: Summer School about Consciousness (1994).

4 F. A. POPP: On the coherence of ultraweak photon emission (1986).

5 F. A. POPP: Evolution as the Expansion of Coherent States (1992).

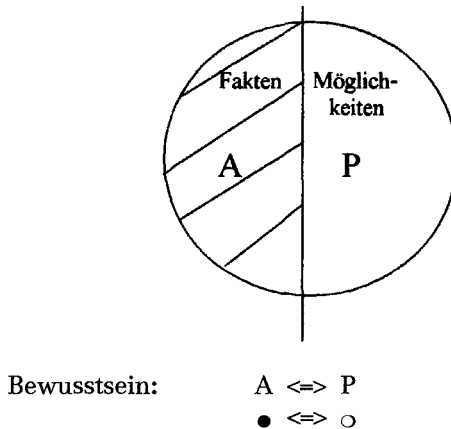


Abb. 2: Unter „Bewusstsein“ verstehen wir den Transformationsvorgang von aktueller Information A in potentielle Information P und umgekehrt.

### 3. Der Münzwurf und die Shannon'sche Information

Der „ideale“ Münzwurf, der auf die Entscheidung hinausläuft, ob die Münze auf „Zahl“ oder „Wappen“ fällt, besteht darin, dass bei unendlich vielen Würfeln die Münze exakt gleich häufig auf Zahl und Wappen landet.<sup>6</sup> Entscheidend dabei ist die Transformation von der Welt der Möglichkeiten in die Welt der Tatsächlichkeiten, also – nach unserer Definition – ein elementarer Bewusstseinsvorgang. Stellte man diese scheinbar überflüssige Frage, nämlich ob die Münze auf Zahl oder Wappen fällt, vor dem Wurf *nicht*, dann wäre der Wurf allerdings völlig bedeutungslos, da die „Welt der Möglichkeiten“ abgeschnitten ist. Der Wurf wäre in diesem Fall ein belangloses Geschehnis wie unendlich viele unbeobachtete kosmische Ereignisse auch, ohne jede Relevanz für den Beobachter. Stellte man andererseits allein nur die Frage, ob die Münze auf Zahl oder Wappen fällt, ohne den Wurf dann auch tatsächlich auszuführen, wäre das Ereignis ebenso irrelevant. In diesem Fall würde die Welt der Tatsächlichkeiten ausgeschaltet.

Die Situation ist elementar für jede Art der Auseinandersetzung mit der „Realität“. So wird zum Beispiel die „Wissenschaft“ regelrecht kastriert, wenn sie sich nur noch mit der Produktion von Messergebnissen beschäftigt, und sie entartet zur brotlosen Kunst, wenn sie sich nur noch Spekulationen hingibt. Entscheidend für den Bewusstseins-Prozess ist die Optimie-

<sup>6</sup> J. PETERS: Einführung in die Allgemeine Informationstheorie (1967).

rung des Informationsgewinns, der im Beispiel des Münzwurfs dadurch entsteht, dass die potentielle Information – nämlich die Möglichkeit, dass die Münze sowohl auf die Zahl als auch auf das Wappen fallen kann – in aktuelle Information – nämlich das tatsächliche Ergebnis „Zahl oder Wappen“ – umgewandelt wird. Wie wir wissen, beträgt dieser Informationsgewinn gerade 1 bit, wobei sowohl der potentiellen wie der aktuellen Information per definitionem der Informationswert 1 bit (als Entscheidung zwischen zwei Möglichkeiten) zugeordnet ist.

Zum „Bewusstseinsvorgang“ gehört konsequenterweise die Bestätigung oder – noch besser – der Gewinn einer Information. Das ist dann und nur dann möglich, wenn beide Bereiche A und P, also aktuelle (A) und potentielle (P) Information eingeschaltet sind. Der Informationsbegriff von C. E. SHANNON ist definiert als Maß für die Überraschung oder auch als Maß für die Reduktion einer bestimmten Unsicherheit, die der Beobachter bei der Wahrnehmung des Ereignisses erfährt. Sowohl aktuelle als potentielle Information werden nach SHANNON in einem Wahrscheinlichkeitsfeld  $W$  ( $1,2,\dots,N$ ) für die Einzelereignisse  $i = 1,2,\dots, N$  in A *definiert*, das vor der Wahrnehmung bereits bekannt ist. Dieses Wahrscheinlichkeitsfeld objektiviert die potentielle Information des Beobachters. Genau diese „Objektivierung“ führt im Endeffekt aber dazu, dass ein „wirklicher“ Bewusstseinsprozess nicht mehr stattfindet oder stattzufinden braucht. Ein „wirklicher“ Informationsgewinn ist ausgeschlossen, sobald – wie bei der Anwendung der Shannon-Information – eine objektive Definition durch den Übergang von einem „offenen“ System, das „wirkliche“ Überraschungen zu bieten hat, zu einem „geschlossenen“ System, in dem es „wirkliche“ Überraschungen dauerhaft nicht geben kann, vorgegeben ist oder vorgegeben werden kann. Dennoch hat die Shannon'sche Definition als Grundlage des Verständnisses für das „Bewusstsein“ eine extrem wichtige und elementare Bedeutung. Nach SHANNON bestimmt das tatsächliche Ereignis quantifizierbar sowohl die aktuelle Information  $I$  als auch die potentielle Information als den Logarithmus der (vorher definierten) Wahrscheinlichkeit, mit der das Ereignis stattfindet, also

$$I_i = +/- \ln W_i, \quad (1)$$

für unabhängige Ereignisse  $i = 1,2,\dots,N$ . Die Shannon'sche Information erfüllt die Bedingungen der Wissenschaftlichkeit insofern, als sie es ermöglicht, den subjektiven Vorgang des Überraschtseins als bestmögliche vollständig „objektive“ Information zu quantifizieren. Das „Bewusstsein“ eines durch und durch „objektiven“ Beobachters wird dabei als Wahr-

scheinlichkeitsfeld repräsentiert, das dem Beobachter im Prinzip a priori bekannt ist. Aus diesem Grunde kann ein solcher Beobachter natürlich weder wirklich „überrascht“ sein noch ein wirkliches „Bewusstsein“ entwickeln oder gar entfalten. Dennoch liefert das Shannon'sche Modell einen vielversprechenden Einstieg in die wissenschaftliche Definition des „Bewusstseins“, wenn man das „Bewusstsein“ so skaliert, dass es den Wert 0 dann besitzt, wenn der Shannon-Beobachter den Bewusstseinsvorgang ausführen würde oder könnte. Da für diesen „Maschinen-Menschen“ aktuelle und potentielle Information stets gleich sein müssen, wird man als Maß für das Bewusstsein einen Wert verwenden, der die Differenz der potentiellen und der aktuellen Information beschreibt:

$$B \equiv f(\ln W_P - \ln W_A) = f(\ln(W_P/W_A)), \quad (2)$$

mit  $f(0) = 0$ .

Das „Bewusstsein“  $B$  wäre dann als eine (noch genauer zu definierende) Funktion  $f$  der Differenz der potentiellen und aktuellen Information aufzufassen, da die völlige Übereinstimmung von  $W_P$  und  $W_A$  zu keinem aktiven und relevanten Denkvorgang führte, der die Einschaltung eines Lebewesens erforderlich machte. Umgekehrt ergeben sich aus den Differenzen zwischen Tatsächlichkeits- und Möglichkeitswelt überhaupt erst Anlässe, ein Bewusstsein zu entwickeln.

Wir erkennen hier auch deutlich, dass das Bewusstsein als „Prozess“ eines Lebewesens in erster Linie „evolutive“ Bedeutung hat, die das Überleben durch Vergleich der aktuellen Information mit den Möglichkeiten sichert und umgekehrt aus den Möglichkeiten durch deren Rücktransformation neue Überlebensbedingungen in der Welt der Tatsächlichkeiten zu schaffen vermag. Dabei kommt es zunächst, in linearer Näherung des Problems, darauf an, dass aus den Tatsächlichkeiten möglichst viele, aber auch effektiv im Zusammenhang mit den Tatsächlichkeiten stehende Möglichkeiten „erdacht“ werden, um das Überleben zu sichern. Das Wahrscheinlichkeitsfeld im Möglichkeitsraum ist deshalb in der evolutiven Entfaltung des Shannon-Bewusstseins nicht mehr identisch mit dem im Tatsächlichkeitsraum, sondern sollte möglichst umfangreicher und vielgestaltiger als das Wahrscheinlichkeitsfeld im Raum der aktuellen Information ausfallen. Dieser Prozess kann als Optimierungsvorgang – wie folgt – beschrieben werden:

$$B_{\max} = \delta f g(P/A) dt = 0, \quad (3)$$

wobei  $P/A$  ein Maß für die Vielfalt des Möglichkeitsraums  $P$  im Vergleich

zu der des Tatsächlichkeitsraums  $A$  darstellt und  $g$  eine geeignete Funktion mit  $g(1) = 0$  ist. Der Transformations- und Optimierungsvorgang spielt sich jeweils in einem endlichen Zeitabschnitt  $t$  ab, da es sich um einen Wahrnehmungs- und Denkprozess handelt.

Dieser Typ einer Optimierung ist auch in der Physik bekannt, und zwar in dem wohl grundlegendsten physikalischen Gesetz überhaupt, dem Extremal-Prinzip von HAMILTON, in dem die Funktion  $g(P/A)$  die Bedeutung der Lagrange-Funktion übernimmt.<sup>7</sup> Wir wollen hier anmerken, dass eine solche Übereinstimmung zwischen dem Grundgesetz elementarer Physik und der „Konstruktion“ des Bewusstseins nicht überrascht, ja zu erwarten ist, erfüllt die „objektive Realität“ doch die Bedingung, dass  $B_{\max}$  in diesem speziellen Fall den Wert 0 annimmt wegen  $P = A$  und  $g(1) = 0$ . Insofern bildet sich unter „objektiven“ Bedingungen die objektive Realität im „Bewusstsein“ ein-eindeutig ab.

#### 4. Beispiele und die Bedeutung von Resonatoren

Das einfachste Beispiel, das uns die Bedeutung und die Anwendbarkeit unserer Definition deutlich macht, ist ein System, das die potentielle Information in  $N$  Speicherplätzen aufzunehmen imstande ist – so zum Beispiel in angeregten Zuständen der Basenpaare der Desoxynukleinsäure (DNA). Die potentielle Information steigt in diesem einfachsten Fall proportional zu  $N$  an. Die aktuelle Information kann dann nur aus einer wahrnehmbaren zeitlichen Änderung der Speicherplatzbelegung entnommen werden, entsprechend einem Term, der mit dem Differentialquotienten  $\partial/\partial t(N)$  anwächst. Konsequenterweise liefert das Extremalprinzip in diesem Fall eine Bedingung der Art

$$\int (N/\partial/\partial t(N)) dt = \text{Extr.}, \quad (4)$$

mit der Lösung

$$N = N(0) \exp(-\lambda t), \quad (5)$$

mit  $\lambda$  als konstantem Parameter, oder entsprechend mit dem Parameter

$$1/\lambda = \tau, \quad (6)$$

der den Bewusstseinsvorgang in diesem einfachsten Modell (Abb. 3) zu charakterisieren imstande ist.

<sup>7</sup> F. HUND: Theoretische Physik. Bd. 1. (1967), S. 167–179.



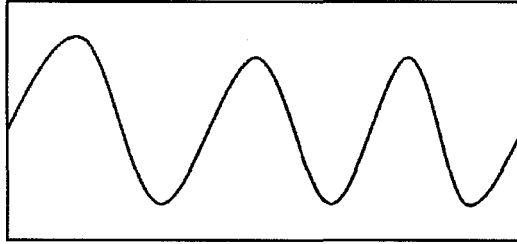


Abb. 3: Der Q-Wert eines Hohlraum-Resonators ist identisch mit der potentiellen Information P in Einheiten von bit:

$$Q \equiv \nu \cdot \frac{\text{Energieinhalt}}{\text{Verlustrate}} = \nu \cdot \tau = P \text{ (in Einheiten von bit)}$$

als Frequenz der gespeicherten Wellen.

Obwohl diese Betrachtung reichlich naiv erscheint, öffnet sie uns doch einen wichtigen, möglicherweise sogar fundamentalen Zugang zum physikalischen Verständnis des „Bewusstseins“. Bekanntlich ist  $\tau = 1/\lambda$  die Kohärenzzeit, also die Zeit, in der Informationen übertragen werden können. Die Extremalprozedur liefert uns für das einfachste denkbare Beispiel einen Wert, der uns auf die Notwendigkeit des Bewusstseins hinweist, Informationen innerhalb einer vorgegebenen Zeit mit Hilfe eines „Gedächtnisses“ zu verarbeiten. Tatsächlich gilt allgemein, dass  $\nu\tau$  die Information (in Einheiten von bit) ist, die auf einer Trägerwelle der Frequenz  $\nu$  gespeichert werden kann, wenn sie die „Möglichkeiten“ in Form von Modulationen aus dem System der Kohärenzzeit  $\tau$  abrufen. Der Bewusstseinsvorgang ist somit im einfachsten denkbaren linearen System an die Kohärenzzeit gebunden, also an die Zeit, in der das System interferenzfähig bleibt und in der konsequenterweise die Kenntnis über die Phasenlage der Vorgänge nicht verloren geht. Ein typisches Beispiel, das diese Zusammenhänge vertieft, ist der Hohlraum-Resonator, dessen Q-Wert, wie folgt definiert ist<sup>8</sup>:

$$Q \equiv \nu \cdot (\text{gespeicherte Energie/zeitliche Energieverlustrate}) = \nu \cdot \tau \quad (7)$$

Der Resonatorwert ist demzufolge identisch mit der *Information*, die der Resonator zu speichern und zu übertragen vermag.

Natürlich wird man nicht so naiv sein, einem Hohlraum-Resonator bereits ein „Bewusstsein“ zuzubilligen. Aber schon diese einfache Betrachtung zeigt uns, dass es offenbar physikalische „Vorstufen“ des Bewusstseins gibt, deren Wert elementar von der Speicherfähigkeit für Information und damit von der Kohärenzzeit abhängig ist.

Wir können die Berechtigung dieses Gedankens untermauern, wenn wir die gleiche Betrachtung, die wir für ein lineares System durchgeführt haben, auf ein nicht-lineares System ausweiten. Ohnehin vertreten wir die Auffassung, dass die DNA nur deshalb einen optimalen „Bewusstseinsprozess“ in Gang setzen kann, weil die Speicher nicht linear ( $\propto N$ ) sondern quadratisch ( $\propto N^2$ ) angeordnet sind (Abb. 4 und 5). Mit anderen Worten, die potentielle Information wird nicht jeweils von Nachbarbasen aufgenommen, sondern in der Wechselwirkung jedes einzelnen Basenpaars mit allen anderen Basenpaaren. Nur so wird das Optimum der „Vernetzung“ des Bewusstseins in einem biologischen System überhaupt erreichbar.

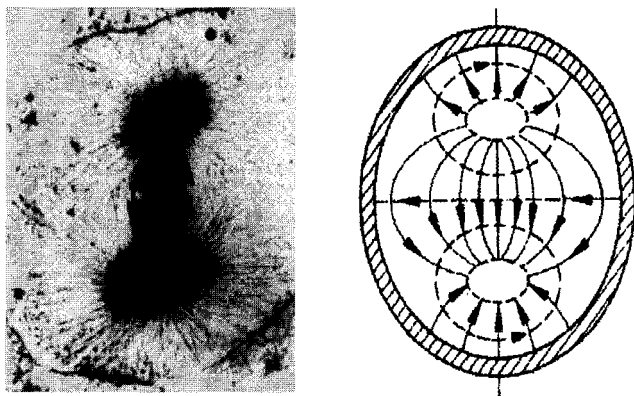


Abb. 4: „Bewusstseinsstruktur“ einer Zelle während der Mitose. Die Hohlraum-Resonator-Welle gibt die potentielle Information vor, die molekulare Anordnung die aktuelle Information. Variationen des Wechselwirkungsvorgangs  $A \Leftrightarrow P$  bestimmen den „Bewusstseins“-Prozess der Zelle.

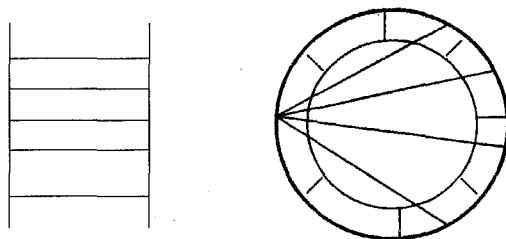


Abb. 5: Im Gegensatz zum linearen Speicher, der nur die Wechselwirkung benachbarter Basenpaare zulässt (links) ist der ideale Speicher so organisiert, dass jede Speichereinheit mit jeder anderen in Verbindung steht (rechts). Die Konsequenz ist eine hyperbolische Relaxation anstelle einer exponentiellen.

Konsequenterweise muss die Gleichung (4) erweitert werden zu

$$\int (N^2/\partial/\partial t (N)) dt = \text{Extr.}, \quad (8)$$

mit der Lösung

$$N(t) = N(0)/(1+\mu t), \quad (9)$$

wobei  $\mu$  ein Parameter ist. Anstelle der Exponentialfunktion erhalten wir nun eine hyperbolische Abklingfunktion, und anstelle der „Kohärenzzeit“  $\tau = 1/\lambda$  aus der linearen Verknüpfung der Speichereinheiten eine „Gedächtniszeit“

$$T \equiv N(0)/\mu \quad (10)$$

des betreffenden „Bewusstseins“. Im Gegensatz zum linearen Speicher, der kein Gedächtnis hat, da in jeweils gleichen Zeitabschnitten der gleiche Bruchteil der Speicher entleert wird und jede Zeitdifferenz  $t_2-t_1$  nur eine Funktion von  $N(t_1)$  und  $N(t_2)$  wird, besitzt der nichtlineare Speicher ein Gedächtnis, da bei der Berechnung von Zeitdifferenzen  $t_2-t_1$  die Information über  $N(0)$  nicht überflüssig wird.

Tatsächlich erweist sich, dass *alle* biologischen Systeme anstelle von Exponentialfunktionen hyperbolische Abklingfunktionen der so genannten „delayed luminescence“ aufweisen, und dass die Charakteristika dieser Funktionen offenbar mit dem Entwicklungszustand der Systeme und, im Fall ihrer Störungen, mit Erkrankungen (zum Beispiel „Krebs“) in engem Zusammenhang stehen.<sup>9</sup> Insbesondere die extrem signifikante Eigenschaft, kohärente (und möglicherweise auch gequetschte) Zustände auszubilden, scheint mit der Fähigkeit eines „Bewusstseins“ qualitativ und quantitativ korreliert zu sein. Diese Zusammenhänge machen auch deutlich, dass die Optimierung *nur* im Quantenbereich möglich ist.<sup>10</sup> Die Biologie ist nur auf der Basis von Quantenphänomenen hinreichend zu verstehen. Die absolute Optimierung des Signal/Rausch-Verhältnisses setzt ein Quantensystem mit der Anwesenheit *nur einzelner* Photonen voraus, da die absolut optimierte Informationsübertragung im klassischen Bereich (bei hohen Signal-Intensitäten) grundsätzlich nicht möglich ist.<sup>11</sup> Klassische Kohärenz unterscheidet sich in einigen Besonderheiten elementar von Quantenkohärenz, wenngleich sowohl im klassischen wie im Quantenbereich die Optimierung der Kommunikationsfähigkeit nur über die Kohä-

9 F. A. POPP/Y. YAN: Delayed luminescence of biological systems (2002).

10 E. S. SASSAROLI/Y. SRIVATAVA/J. SWAIN/A. WIDOM (Hg.): Macroscopic Quantum Coherence (1998).

11 D. F. WALLS/G. J. MILBURN: Quantum Optics (1994).

renz der Informationsträger (des Bosonenfeldes) zu erreichen ist.<sup>12</sup> Aber nur im Fall makroskopischer Quantenkohärenz sind die absolut höchsten Signal/Rausch-Verhältnisse bei gleichzeitig höchstem Auflösungsvermögen oder größter Reichweite überhaupt nur möglich. Mit dem „Kohärenzgrad“ des Photonenfeldes eines biologischen Systems ändern sich zum Beispiel<sup>13</sup>:

- die Fähigkeit zur raumzeitlichen Musterbildung elektromagnetischer Kräfte (Interferenzmuster),
- die Fähigkeit zur interzellulären Kommunikation wie Schwarmbildung in Organismen (zum Beispiel Daphnien),
- der „Gesundheitszustand“,
- die Qualität von Lebensmitteln,
- die Malignität von Tumorzellen.

Inzwischen gibt es hierzu auch wertvolle Hinweise auf die physikalischen Mechanismen, die sich hinter diesen außergewöhnlichen Eigenschaften biologischer Materie verbergen.<sup>14, 15</sup> Diese Zusammenhänge laden uns ein, das über die Vor- und Rücktransformation von aktueller in potentielle Information definierte „Bewusstsein“ physikalisch als Eigenschaft eines kohärenten Zustandes unter weiter zu bestimmenden Bedingungen zu kennzeichnen.

## 5. Bewusstsein und Entropie

Einen offensichtlichen Zusammenhang zur Shannon'schen Information – und damit auch zu den wissenschaftlichen Quellen des „Bewusstseins“ – liefert die bekannte Parallele zwischen „Information“ und thermodynamischer Entropie. Bekanntlich fordert der zweite Hauptsatz der Wärmelehre, dass in abgeschlossenen Systemen die Entropie immer nur zunehmen kann, oder – um es mit E. SCHRÖDINGER zu formulieren – die Negentropie (der negative Wert der Entropie) nur abnehmen kann. Das bedeutet, dass in abgeschlossenen Systemen ein unaufhaltsamer Informationsverlust stattfindet für den Fall, dass es einen linearen Zusammenhang zwi-

12 J. PERINA: *Coherence of Light* (1985).

13 F. A. POPP/K. H. LI/Q. GU (Hg.): *Recent Advances in Biophoton Research* (1992).

14 F. A. POPP/J. J. ZHANG: *Mechanism of interaction between electromagnetic fields and living organisms* (2000).

15 F. A. POPP/J. J. CHANG/A. HERZOG/Z. YAN/Y. YAN: *Evidence of non-classical (squeezed) light in biological systems* (2002).

schen „Negentropie„ und „Information„ gibt. Sollte ein Bewusstseinsvorgang im abgeschlossenen System stattfinden, dann bedeutet das konsequenterweise einen Gedächtnisverlust, der es ausschließt, dass sich „Bewusstsein“ im abgeschlossenen System überhaupt entwickelt haben kann. Insofern kann man (in Übereinstimmung zur Erfahrung) davon ausgehen, dass „unbelebte Materie“ zu dem, was wir „Bewusstsein“ nennen, nicht in der Lage ist. Umgekehrt muss aber jedem offenen System (ob belebt oder unbelebt) eine notwendige Voraussetzung zur „Bewusstseinsbildung“ zugestanden werden. Letztlich kommt es aus dieser Sicht allein darauf an, von welchem Maße einer Abweichung vom Shannon'schen Prozess an nach (3) mit  $P = A$  ein „Bewusstsein“ einzuräumen ist. So ist es natürlich möglich, Roboter zu bauen, die nicht nur Signale von außen empfangen, und damit einen Transformationsprozess  $A \Rightarrow P$  ermöglichen, sondern durch Hinzunahme weiterer gespeicherter Informationen auch umgekehrt intelligent auf Signale reagieren ( $A \Leftarrow P$ ). Hinter dieser Funktion steht aber letztlich immer ein „wirkliches“ Bewusstsein eines Menschen, das sich in der Funktion des Roboters lediglich abbildet. Zwischen Abbildung und dem Original kann allein nur das „wirkliche“ Bewusstsein unterscheiden, nicht aber die Kopie. Insofern dürfte die Fähigkeit der Rücktransformation ( $A \Leftarrow P$ , mit  $P > A$ ) wesentlich für die Beurteilung der Existenz und des Grades eines Bewusstseins sein und bleiben.

Aus physikalischer Sicht ist insbesondere die Frage bedeutsam, wie sich gegen den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre ein Bewusstsein entwickeln und entfalten kann, sobald das System notwendigerweise vom abgeschlossenen in den offenen Zustand übergeht.

Unsere experimentellen Arbeiten zur Biophotonenemission legen folgendes Prinzip nahe. Biologische Systeme, die sich offenbar dadurch auszeichnen, ein Bewusstsein entwickeln zu können und eine solche Entfaltung zu optimieren, folgen in der Entropie ihrer Photonenfelder nicht der Bose-Einstein- (bzw. Boltzmann-)Statistik, sondern der Regel.<sup>16</sup>

$$f(v) = \text{constant} \quad (11)$$

wobei  $f(v)$  die Wahrscheinlichkeit ist, die verschiedenen Anregungszustände des biologischen Systems zu besetzen.

Diese Verteilung kennzeichnet ein „ideal“ offenes System, das stets genügend Energie verfügbar hat, um das absolute Maximum der Entropie zu erreichen. Bekanntlich ist die Entropie des geschlossenen Systems durch

16 F. A. POPP: Leben als Sinnsuche (2000).

die Randbedingung der Energieerhaltung wesentlich niedriger als die des ideal offenen Systems bei gleicher Zahl von Freiheitsgraden.

Auf den ersten Blick erscheint es absurd, dass biologische Systeme nicht ein absolutes *Minimum*, sondern ein absolutes *Maximum* der Entropie einnehmen. Der geniale Kunstgriff der Natur besteht offenbar darin, dass die Biologie bei perfekter Erfüllung des Stabilitätsprinzips, nämlich das *Maximum* der Entropie zu erreichen, den Entropiewert selbst durch Reduktion der Freiheitsgrade dramatisch verringert, so dass die Entropie  $S$  theoretisch sogar den Wert 0 erreichen kann.

$$S = -k \sum_N f(i) \ln f(i) \rightarrow 0 \text{ für } N \rightarrow 1, \quad (12)$$

wobei  $N$  die Zahl der Freiheitsgrade ist.

Ein offenes biologisches System antwortet auf externe Signale offenbar nicht durch Variation der  $f$ -Werte, sondern „kollektiv“ durch Änderung der Freiheitsgrade. Diese Besonderheit erklärt sowohl die hohe Sensitivität als auch die hohe Stabilität des biologischen Systems. Der „Negentropie“ des biologischen Systems ist dann eine entsprechende Reduktion von Freiheitsgraden zuzuordnen, die dadurch entsteht, dass kohärente Photonen „kondensiert“ (gespeichert) werden. Die Photonenenergie  $h\nu$  wird in die Reduktion von Freiheitsgraden  $N$  umgewandelt, wobei „thermodynamisch“ pro Photon die Entropie um etwa  $k/N$  reduziert wird. Das gilt für  $N > 1$ . Für  $N \rightarrow 1$  geht  $k/N$  in  $k \ln 2$  pro gespeichertem Photon über. Umgekehrt *erhöht* sich die Entropie um die gleichen Beträge, falls Photonen wieder freigelassen werden. Letztlich läuft der Bewusstseinsvorgang aus dieser Sicht physikalisch auf die Speicherung und Freisetzung kohärenter Photonen hinaus, die folglich ein chemisches Potential aufweisen (da sie im Gegensatz zu „freien“ Photonen die Entropie des Systems verändern). Als „Mechanismus“ für diese Prozesse kommt unter anderem ein nicht-linearer physikalischer Vorgang in Frage, den man *Phasenkonjugation* nennt. Die Transformation von aktueller in potentielle Information entspricht der Speicherung, die Rücktransformation der Freilassung kohärenter Photonen, die jeweils mit der Reduktion bzw. dem Anstieg der Entropie zusammenhängen. Diese Prozesse laufen sowohl im Innern des Systems als auch in der Wechselwirkung mit der Umgebung ab. Sie lassen sich durch einen Vorgang nach Abb. 6 darstellen.

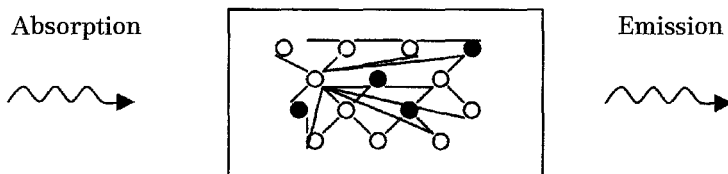


Abb. 6: Modell der physikalischen Basis des Bewusstseins als Absorptions- und Emissionsprozess von Photonen in einem nichtlinearen Speicher nach Abb. 5 (rechts).

Das Muster entsteht aus den Interferenzen gefüllter Speicherplätze. Absorption und Emission des optisch aktiven Materials sind in der Regel Photonen-induziert bzw. Photonen-inhibiert.

Die Signale, die absorbiert werden, stammen entweder aus dem Außenraum, entsprechend dem Übergang  $A \Rightarrow P$ . Oder sie stammen aus dem System selbst und regen die Aktivität  $P \Leftrightarrow P$  an.

Die Signale, die emittiert werden, stammen aus dem Innern des Systems. Sie führen zu Prozessen  $P \Rightarrow A$ . Das „Erinnerungsvermögen“ dieser Speicher hängt mit ihrer jeweiligen „Aufladung“ in einem Originalzustand zusammen. Die Interferenzmuster sind der „semantischen“ Information zugeordnet.

## 6. Bewusstsein und „Zeit“

Es bedarf keines Beweises für die Behauptung, dass ohne „Zeitempfindung“ ein Bewusstsein nicht möglich ist. Ein stationärer Zustand kann demzufolge kein „Bewusstsein“ aufweisen. Die oben durchgeführten Überlegungen zur Optimierung einer Transformationsfunktion von aktueller in potentielle Information (und umgekehrt) können ebenso auch als Ausgangspunkt für das Verständnis des Bewusstseins der „Zeit“ betrachtet werden. Dabei müssen wir unterscheiden zwischen einer „objektiven“ Zeit, die aus Ereignissen der aktuellen Information – zum Beispiel dem Sonnenstand – hergeleitet wird, und einer „subjektiven“ Zeit, die offenbar dem Bereich der potentiellen Information, einer „biologischen Uhr“ entspringt. Die beiden „Zeitbegriffe“ sind keineswegs identisch. Während die „objektive“ Zeit als völlig stetig und „gleichmäßig“ ablaufend postuliert und auch definiert ist, folgt die „subjektive“ Zeit des „Zeitbewusstseins“ offenbar internen biologischen Vorgängen, aber auch spontanen äußeren Einflüssen auf das biologische System. So ist bekannt, dass mit zunehmendem Alter objektiv gleiche Zeitabschnitte  $t$  immer kürzer „empfunden“ werden. Daraus geht hervor, dass das Bewusstsein das Zeitempfinden mindestens teilweise dem Bereich der potentiellen Information entnimmt. Die Analyse kohärenter Zustände zeigt, dass der Parameter  $1/\mu$ , den wir für den Optimierungsvorgang eines kohärenten System eingeführt haben, ein Maß für die Speicherfähigkeit und die Kohärenz des Systems darstellt. Die Kohärenz des Photonenfeldes eines sich gesund entwickelnden Biosystems nimmt bis ins hohe Alter hinein zu. So steigt die Wärmeproduktion

des Gehirns bis weit über achtzig Jahre ständig an. Auch Differenzierungsprozesse in den Zellgeweben, die nach unserer Auffassung auf eine Zunahme der Kohärenz zurückzuführen sind, steigen bis ins hohe Alter hinein an. Konsequenterweise muss in den Formeln (8-10) eine Abnahme von  $\mu$  mit zunehmendem Alter angenommen werden. Da sich die potentielle Information in diesem einfachsten nichtlinearen Modell nur an  $N(0)$  und  $N(t)$  orientieren kann, ergibt sich die „biologische“ Zeit  $t_{\text{biol.}}$  nur aus dem „wahrnehmbaren“ Verhältnis  $N(0)/N(t)$  mit

$$t_{\text{biol.}} = \mu t_{\text{phys.}} = N(0)/N(t_{\text{phys.}}) - 1, \quad (13)$$

wobei  $t_{\text{phys.}}$  die objektive, physikalische Zeit darstellt.

Konsequenterweise verkürzt sich die biologische Zeit mit steigendem Kohärenzgrad ( $\mu \rightarrow 0$ ) des biologischen Systems, und sie verlängert sich entsprechend, wenn sich die Speicher der potentiellen Information  $N(0)$  schneller entleeren ( $\mu \rightarrow \infty$ ). Das könnte beispielsweise durch stimulierte Emission von Photonen erreicht werden.

Aus der o.a. Beziehung kann leicht auch „formal“ auf eine Gedächtnisfunktion des Bewusstseins geschlossen werden. Die „biologische“ Zeit dreht sich um für  $\mu < 0$ . Das bedeutet physikalisch, dass das Speichersystem nicht „entleert“, sondern „aktiviert“ wird, um von einer Speicherzahl  $N(t) < N(0)$  in eine ursprüngliche Formation  $N(t) \rightarrow N(0)$  zurückzukehren. Die Identität vergangener Speicherplatzbelegung mit jener, die durch Rückaktivierung erreicht werden kann, löst dann möglicherweise das Signal der „Erinnerung“ aus.

Diese aus dem einfachsten Modell des Bewusstseins aus dem Prinzip nach (3) abgeleiteten Überlegungen laden uns zu einer Hypothese über die grundsätzliche physikalische Basis des Bewusstseins ein, die in Abb. 6 skizziert ist.

Natürlich dürfte die Realisierung im Detail wesentlich komplizierter sein, da den Speicherplätzen  $N$  durch Spezifizierung und Musterbildung semantische Informationen zuzuordnen sind. Uns erscheint es dabei auch wichtig, auf folgende Zusammenhänge hinzuweisen.

Kohärente Zustände sind im Allgemeinen nicht-stationär und deshalb auch geeignet, die Eigenschaften eines Bewusstseins zu entfalten. Ihre Fähigkeit, eine *Zeitrichtung* zu registrieren, kann physikalisch im Prinzip auch dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre zugeordnet werden. Dabei erscheint die Idee attraktiv, dass es einen Informationserhaltungssatz gibt, der dafür sorgt, dass der Verlust an Information durch den zweiten Hauptsatz exakt ausgeglichen wird durch einen entsprechenden Informa-



tionsgewinn in der Entwicklung des angekoppelten Bewusstseins. Ein solches Postulat lässt sich offenbar nicht widerlegen, sondern könnte – ähnlich wie dies im Fall des Energieerhaltungssatzes gelungen ist – als allgemein gültige Definition der „Information“ Verwendung finden.

Nicht unerwähnt sollte auch bleiben, dass das „Bewusstsein“ selbstverständlich ein quantentheoretisches Phänomen ist, sobald es als notwendige Eigenschaft eines kohärenten Zustandes definiert werden kann. In diesem Zusammenhang ergibt sich neben weiteren ungelösten Problemen auch die interessante Frage, ob das endliche Auflösungsvermögen der biologischen Struktur – so zum Beispiel die Abstände zwischen den Basenpaaren der DNA – als Ursache für die Endlichkeit des Planck'schen Wirkungsquantums oder der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit aufgefasst werden kann oder/und umgekehrt die Substruktur biologischer Zellen ihre Dimensionierung der Limitierung der Naturkonstanten verdankt. Tatsache ist, dass die Sensitivität des biologischen Systems durch die Unschärferelation begrenzt ist. So erfüllen Signale, die das „Bewusstsein“ gerade noch wahrnehmen kann, exakt gleich die Unschärferelation für die Minimalabweichungen kohärenter (oder gequetschter) Zustände:  $\Delta p \Delta x = h$ . So werden elektrische Signale mit bestimmtem vorgegebenen  $\Delta p$ , die „bewusst“ wahrgenommen werden, über einer Distanz  $\Delta x$  im Gehirn absorbiert, so dass  $\Delta p \Delta x = h$ .<sup>17</sup> Entsprechendes kennt man von der Sehfähigkeit des Auges.

Aus physikalischer Sicht drängt sich auch der Gedanke auf, dass für die Wahrnehmbarkeit der Zeit (und der Zeitrichtung) und für die Ursachen des „Alterns“ elementar magnetische, und nicht elektrische Wechselwirkungen verantwortlich sind, da allein nur das Vektorpotential, und nicht elektrische Potentiale, das Prinzip der Mikro-Reversibilität in der Wechselwirkung mit Ladungsträgern verletzt.

Es wäre aber verwegen, heute fertige Antworten auf die Vielfalt der Fragen anzubieten, die aus physikalischer Sicht zu stellen sind. Eine aktuelle Diskussion solcher Probleme findet sich zum Beispiel bei A. Ya. TEMKIN.<sup>18</sup>

17 Sir John ECCLES, persönliche Mitteilung, Internationale Tagung der Temple-Universität, Bermudas (1992).

18 A. Ya TEMKIN, [www.eng.tau.ac.il/~temkin](http://www.eng.tau.ac.il/~temkin)

## 7. Bewusstsein und Evolutionsprozess

Abb. 7 zeigt die geschichtliche Entwicklung der Kooperativität vom Elementarteilchen der Atome, Moleküle, Gase, Flüssigkeiten, Festkörper bis über die Grenze der geschlossenen Systeme hinaus (Zellen, Organellen, ..., Pflanzen und Tiere, Mensch und Gesellschaften). In ähnlicher Reihenfolge hat man wohl auch die Evolution des „Bewusstseins“ anzuordnen, wobei im Fall der Zelle der Durchbruch vom geschlossenen System, das dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre unterworfen ist, in das offene System

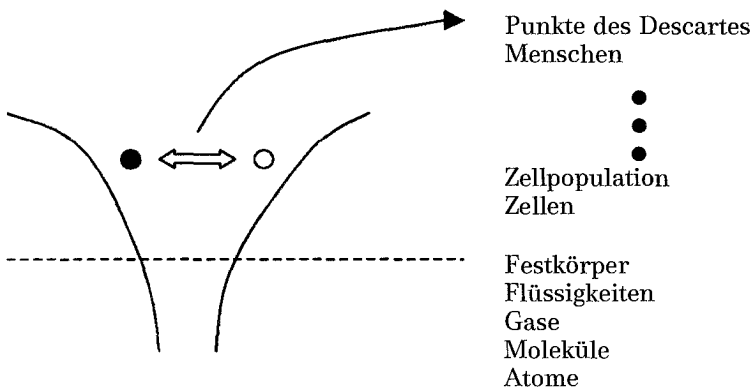


Abb. 7: Mit zunehmender Komplexität des Systems steigt die Chance, kooperative Effekte zu erzeugen. Zwischen der Entwicklung von Feststoffen und der von Zellen entsteht ein Evolutionssprung durch den Übergang von geschlossenen zu offenen Systemen. Die Entropie im System kann auf Kosten der abgegebenen Entropie abnehmen. Dies ist eine notwendige Voraussetzung zur Entwicklung des „Bewusstseins“. Entscheidend ist nicht die stoffliche Zusammensetzung, sondern die Energieverteilung über die Materie. Am Punkt des Descartes („Ich zweifle, also bin ich“) wird das Inertialsystem des Bewusstseins über die elementare Kopplung zwischen aktueller und potentieller Information koordiniert.

gelang. Die Änderung der Entropie im offenen System besteht von dieser Schwelle an nicht mehr allein aus dem notwendigen Entropiezuwachs  $dS_a \geq 0$  gegenüber der Umgebung, sondern auch aus einer möglichen Entropiereduktion  $dS_i < 0$ , die das Innere des Systems ordnet, „gestaltet“ und organisiert, wobei lediglich die Bedingung  $|dS_i| < |dS_a|$  erfüllt sein muss. Mit anderen Worten: Die Fähigkeit zur Bewusstseinsentfaltung beginnt erst bei der Entwicklung von Zellen. Sie steigt mit der Fähigkeit zur Entropieproduktion an. Dies entspricht der Auffassung SCHRÖDINGERS, dass Lebewesen „Ordnungsräuber“ sind.

In idealer Weise kann diese Fähigkeit nur von einem kohärenten Zustand entwickelt werden, der seine Existenz vermutlich der Einwirkung

der Sonnenstrahlung auf der Erde verdankt. Es kann kein Zufall sein, dass die Kohärenzfläche der Sonne auf der Erde gerade gleich der Oberfläche einer biologischen Zelle ( $\cong 10^{-6} \text{ cm}^2$ ) entspricht.<sup>19</sup> Sobald der ideal kohärente Zustand gebildet ist, schafft er sich „Unsterblichkeit“ durch die Fähigkeit der Zellteilung und einer darauf abgestimmten zeitlich begrenzten Lebensdauer. Die Teilungsrate muss deshalb von Natur aus größer als die Zellverlustrate sein. Eine dritte, damit interferierende Strategie besteht aber offenbar darin, ein „Bewusstsein“ zu entwickeln, das durch Informationsgewinn beides, die Verlustrate und die Teilungsrate, verringert und damit den Energiebedarf bei gleichzeitiger evolutiver Entfaltung der Information reduziert. Dieser Zweck zur Optimierung des Bewusstseins ist im Neo-Darwinismus nicht erkennbar, nach Einführung des Bewusstseins aber als Evolutions-Strategie eines der wesentlichen „Ziele“ der Evolution.

Schon dann, wenn man nur die Entwicklung des Pflanzenreiches aus physikalischer Sicht beleuchtet, fällt auf, dass durch Photosynthese die thermische Dissipation des Sonnenlichts auf der Erde dramatisch verzögert wird. Dieses „Energiesparpotential“ beruht im Prinzip auf der Entwicklung von Resonatoren, deren Verzögerungszeit („Kohärenzzeit“)  $\tau$  mit der potentiellen Information  $I_{\text{pot}}$  durch die Beziehung  $I_{\text{pot}} = Q = v\tau$  zusammenhängt, wobei  $Q$  die Resonatorgüte und  $v$  die Frequenz des gespeicherten Lichts bedeuten. Diese Entwicklung setzt sich in der Entfaltung eines „Bewusstseins“ *über das Bewusstsein* und des Bewusstseins *über das Bewusstsein über das Bewusstsein* ..... nach Art russischer Puppen fort. Beim Menschen und seinen Gesellschaften kann möglicherweise die höchste Stufe dieser Entwicklung erreicht werden. Dieser Zielpunkt der Evolution, dessen Anfang ich als Punkt des Descartes bezeichnen möchte – „Ich zweifle, deshalb bin ich“ – , verknüpft die aktuelle Information des „Seins“ mit der „potentiellen“ Information des „Zweifels“. Von diesem Punkt ausgehend öffnen sich im Prinzip vier Entwicklungsmöglichkeiten des Bewusstseins<sup>20</sup>, nämlich:

(1) Selbst-Bewusstsein (Self-Confidence) – Ich bin (I am) – symbolisch darstellbar durch die Wechselwirkung des „ICH“ als Objekt mit dem „Selbstzweifel“ des Ich, dem Subjekt der Kommunikation, wobei am Schluss des Dialogs eine Deckungsgleichheit der beiden Bereiche A und P erreicht wird.

19 M. BORN/E. WOLF: Principles of Optics (1975).

20 F. A. POPP, Vortrag auf der Tagung vom 5.–7.10.2001 in Zürich, Internationale Stiftung für Biosynthese, D. Boadella: persönliche Mitteilung.

(2) – Identifikation (Awareness) – DU bist, ES ist (YOU are, IT is) – symbolisch darstellbar durch die Wechselwirkung des „DU“ oder „ES“ als Objekt mit den „Möglichkeiten“, die sich nach Existenz des „DU“ oder „ES“ im Bewusstsein des „Ich“ ergeben, wobei beide Bereiche A und P am Schluss des Dialogs wieder zur Deckung gebracht werden.

(3) Vorhersage (Prediction) – Es WIRD sein (It will be) – symbolisch darstellbar durch wiederholte Wechselwirkung des „ES“ als Objekt mit den „Möglichkeiten“ des „Du“ oder „Es“ in der Vorausschau des Bewusstseins des „Ich“, bis beide Bereiche A und P zur Deckung gebracht werden.

(4) Erinnerung oder Inspiration (Memory or Inspiration) – Es KÖNNTE gewesen sein *oder* Es KÖNNTE werden – (It COULD have been *or* It COULD become) – symbolisch darstellbar durch die wiederholte Wechselwirkung der zur aktuellen Information transformierten potentiellen Information des „Es“ in der Vergangenheit oder Zukunft mit der potentiellen Information des „Ich“ in der Gegenwart, wobei die beiden Bereiche A und P nicht zur Deckung gebracht werden können. Der Prozess endet, sobald keine bessere Übereinstimmung zwischen A und P mehr erreichbar ist.

Tab. 1: Elemente des Bewusstseins

● ↔ ●	ICH BIN		SELBSTBEWUSSTSEIN
● → ○	ES IST		WAHRNEHMUNG
● → ○ → ●	ES WIRD SEIN		VORHERSAGE
● ← ○	ES KÖNNTE	GEWESEN SEIN	ERINNERUNG
○ → ●		WERDEN	INTUITION

Die Verknüpfung dieser Elemente liefert dann das Wechselspiel des „Bewusstseins“, das wir aus der täglichen Erfahrung kennen, nämlich die be-

deutende Rolle des „ICH“, die das Inertialsystem der bewussten Information aufbaut, die des „DU“, die die sozialen Bindungen, und damit eine „Ethik“ begründet, die des „ES“, die die Wahrnehmung einer Trennung zwischen „Objekt“ und „Subjekt“ herbeiführt, die Rolle der „wissenschaftlichen“ Aktivitäten, die die „Objektivierung“ und „Vorhersagbarkeit“ einer „Realität“ bedingen und die Rolle der Kreativität (in Kunst und Ethik), die aus der Quelle des A immer neue Möglichkeiten des P und nachfolgend auch des A erzeugt und damit den Bewusstseinsvorgang zu einer nie versiegenden und sich ständig erweiternden Quelle aktueller und potentieller Information macht. Wissenschaft, Kunst und Ethik sind notwendige Konsequenzen eines sich entwickelnden Bewusstseins, das im Sinne einer Optimierung den Bereich der Möglichkeiten ständig erweitert und erweitern muss, um die Welt der Tatsächlichkeiten für die Optimierung der Kommunikation offen zu halten, und um letztlich einen Sinn anstreben zu können, unabhängig davon, ob er je erkannt werden kann oder nicht.<sup>21</sup>

### Zusammenfassung

POPP, Fritz-Albert: **Bewusstsein als Eigenschaft kohärenter Zustände**. Grenzgebiete der Wissenschaft 51 (2002) 3, 195 – 217

„Bewusstsein“ kann als Transformationsprozess zwischen aktueller Information (Welt der Tatsächlichkeiten) und potentieller Information (Welt der Möglichkeiten) definiert werden. Die Optimierung dieses Vorgangs hat wesentliche Bedeutung für die Evolution, da sie einerseits die Entfaltung rationalen Denkens ermöglicht, aber auch schöpferische Potentiale einschließt. Das Gedächtnis ist eines der notwendigen Elemente, das von der Kohärenzzeit interner Felder bestimmt wird. Die Entwicklung des Bewusstseins kann auch nur aus der Quantentheorie offener Systeme verstanden werden. Es gelingt, eine Reihe notwendiger Bedingungen für das Bewusstsein aufzustellen, vermutlich ist es aber grundsätzlich nicht möglich, eine hinreichende Beschreibung zu geben. Das bedeutet im Grunde genommen, dass der „Sinn“ der Evolution aus der Sicht der Bewusstseinsentfaltung darin besteht, einen Sinn zu suchen, ohne ihn jemals finden zu können.

### Summary

POPP, Fritz-Albert: **Consciousness as a feature of coherent states**. Grenzgebiete der Wissenschaft 51 (2002) 3, 195 – 217

„Consciousness“ can be defined as a transformation process between actual and potential information, i. e. the world of actual events and the world of possibilities. The optimization of this procedure is of essential significance for biological evolution, since it allows the development of rational thinking as well as the induction of creativity. The memory is one of the necessary elements that depends on the coherence time of internal quantum fields. Thus, the enfolding of consciousness can be understood only in terms of quantum theory of open systems. It is shown that it is possible to understand some necessary conditions of consciousness; however, it seems that it is impossible to find a sufficient description. This means in a basic sense that the goal of the evolution in terms of the development of consciousness is the search for a sense that can never become uncovered.

21 P. A. MÖLLER: Medizinische Ethik im 21. Jahrhundert (2001).

Bewusstsein  
Entropie  
Evolutionsprozess  
Quantentheorie  
Zeit

Consciousness  
Entropy  
Evolutionary process  
Quantum theory  
Time

### L i t e r a t u r

BARROW, G. M.: Physikalische Chemie. – Heidelberg; Braunschweig; Bohmann; Vieweg, 1973.

BORN, M./WOLF, E.: Principles of Optics. – Oxford: Pergamon Press, 1975.

HUND, F.: Theoretische Physik. Bd. I. – Stuttgart: Teubner, 1967.

JACKSON, J. D.: Classical Electrodynamics. – New York; London: John Wiley & Sons, Inc., 1962.

LIPKIND, M.: Definition of Consciousness: Impossible and Unnecessary? In: F. A. Popp/L. Belousov (Hg.): Integrative Biophysics. – Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 2002, in Druck.

MÖLLER, P. A.: Medizinische Ethik im 21. Jahrhundert. Zur Anthropotechnik der Menschlichkeit. Kühlungsborner Tagung vom 12.–14. Mai 2000, Tagungsband, Norderstedt, 2001.

PERINA, J.: Coherence of Light. – Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985.

PETERS, J.: Einführung in die Allgemeine Informationstheorie. – Berlin; Heidelberg: Springer, 1967.

POPP, F. A.: On the coherence of ultraweak photon emission from living systems. In: C. W. Kilmister (Hg.): Disequilibrium and Self-Organization. – Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, 1986, S. 207–230.

POPP, F. A./LI, K. H./GU, Q. (Hg.): Recent Advances in Biophoton Research and its Applications. – Singapore; London: World Scientific, 1992.

POPP, F. A.: Evolution as the Expansion of Coherent States. In: B. Rubik (Hg.): The Interrelationship Between Mind and Matter. – Philadelphia, Marketing Graphics, Southampton, PA: Center of Frontier Sciences, Temple University, 1992, S. 249–281.

POPP, F. A.: Summer School about Consciousness, Academy of Consciousness Studies, Princeton University, June 26 – July 9, 1994.

POPP, F. A.: Leben als Sinnsuche. In: H.-P. Dürr/F. A. Popp/W. Schommers (Hg.): Elemente des Lebens. – Kusterdingen: Die graue Edition, 2000, S. 305–336.

POPP, F. A./ZHANG, J. J.: Mechanism of interaction between electromagnetic fields and living organisms. *Science in China* (Series C), 43 (2000), 507–518.

POPP, F. A./CHANG, J. J./HERZOG, A./YAN, Z./YAN, Y.: Evidence of non-classical (squeezed) light in biological systems. *Phys.Lett. A* 293 (2002), 98–102.

POPP, F. A./YAN, Y.: Delayed luminescence of biological systems in terms of coherent states. *Phys. Lett. A* 293 (2002), 93–97.

SASSAROLI, E. S./SRIVATAVA, Y./SWAIN, J./WIDOM, A. (Hg.): *Macroscopic Quantum Coherence*. – Singapore; New Jersey: World Scientific, 1998.

WALLS, D. F./MILBURN, G. J.: *Quantum Optics*. – Berlin: Springer, 1994.

Prof. Fritz-Albert Popp, Internationales Institut für Biophysik, Raketenstation,  
Landesstiftung Insel Hombroich, Kapellener Str. o.N., D-41472 Neuss  
[iib@lifescientists.de](mailto:iib@lifescientists.de)