



CENTER
FUTURELAB
FESTIVAL
PRIX
ARCHIVES

Festival Archive
Prix Archive
People & Projects
Futurelab Archive
Center Archive
Picture Archive
Contact

Press Lounge
Publications
Sitemap
Network & Partners

English Deu
InfoCollecto
Search

Ars Electronica Archive → Catalog Archive



ENDO NANO [PART 01]

Endophysics – Physics from Within

→ **Ars Electronica 1992**

→ **Festival-Program 1992**

Back to:

→ **Festival 1979-2005**

>1992

[Otto E. Rössler](#)

Jede objektive Physik muß den Beobachter außerhalb halten. Dieses Ziel kann paradoxerweise nur erreicht werden, wenn der Beobachter explizit hineingenommen wird in ein größeres Bild, das dann erst Beobachter-unabhängig ist. Man erkennt bei diesem Vorgehen, daß die Welt immer nur definiert ist auf der Schnittstelle zwischen dem Beobachter und dem Rest der Welt. Da diese Schnittstelle per definitionem unzugänglich ist, scheint es für uns keine Lösung zu geben. Wir können aus unserer eigenen Welt nicht heraustreten, um die Rolle eines Super-Beobachters anzunehmen. Also können wir die Welt nicht verstehen. Unerwarteterweise gibt es ein kleines mögliches Schlupfloch: Es können "Modellwelten" aufgestellt werden, die einen expliziten (mikroskopisch beschriebenen) internen Beobachter enthalten. Als Beispiel könnte man an die klassisch molekulardynamische Simulation eines erregbaren Systems (als Beobachter) und eines gekühlten Gasdruckverstärkers (als Meßkette) und eines einzelnen Mikroteilchens (als Objekt) denken. In diesem Fall kann die Schnittstelle studiert werden. Ein möglicher (nur wenig idealisierter) Fall ist der, daß die Mikrobewegungen im Beobachter in genau zwei Äquivalenzklassen fallen, deren Elemente paarweise identisch sind unter Zeitumkehr (Fall gleichperiodischer Oszillatoren). Obwohl in Wirklichkeit der Beobachter zwischen schwarz und weiß (nicht zeitumgekehrt/zeitumgekehrt) hin und her springt, erscheint es ihm, als ob die extreme Realität einer raschen Abfolge von Kausalitätsumkehrungen unterworfen wäre. Dieser Eindruck ist unkorrigierbar.

Sogar makroskopische Dokumente wären nicht geeignet, diesen halluzinatorischen Eindruck vom Verhalten eines gemessenen Mikroobjektes aufzuheben. Viele objektive (auch makroskopische) Eigenschaften der Welt wären daher nur objektiv "relativ zum Beobachter". Ihre Gesamtheit könnte als der – für den Beobachter nicht erkennbare, da nur für ihn existierende – "paranoische Part der Physik" (PPP) bezeichnet werden. Eine Heilung von dieser Krankheit ist unmöglich. Dennoch könnten die Einwohner der Modellwelt ihrerseits ein endophysikalisches Forschungsprogramm in Angriff nehmen. Als Folge könnten sie es sich angewöhnen, "beobachterzentrierten" Phänomenen gegenüber besonders kritisch zu sein. In unserer eigenen Welt könnte man versucht sein, die folgenden Phänomene mit einem exophysikalischen Fragezeichen zu markieren: (1) das Bohrsche Privileg (welche Realität ich kreierte durch meine Entscheidung, den Ort und nicht den Impuls zu messen); (2) das Heisenbergsche Privileg (wo im Formalismus der "Schnitt" gelegt wird); (3) das Wheelersche Privileg (der verzögerten Bohrschen Wahl); (4) das Everettsche Privileg (daß der empfindende Beobachter genau eine Welt vorfindet); und (5) das Bellsche Privileg (der Erzeugung nichtlokaler Fernkorrelationen). Analoga zu all diesen Privilegien gibt es in der genannten Modellwelt. Neue beobachter-spezifische Phänomene können vorhergesagt werden. Sogar die Möglichkeit, durch die Durchführung von Metaexperimenten (wie man sie den Bewohnern einer Modellwelt empfehlen möchte) selbst einen "Blick hinter den Vorhang zu werfen", erscheint nicht vollkommen unmöglich. (Ich danke George Kampis und Peter Kugler für Anregung.)

ZUM SYMPOSION

Es wird eine Erweiterung der Naturwissenschaft, die Endophysik, vorgestellt. Nur, wenn man sich außerhalb eines nichttrivialen Universums befindet, ist eine vollständige Beschreibung desselben möglich – zum Beispiel, wenn man dieses Universum im Computer vor sich hat. Die Gesetze, die gelten, wenn man selbst ein innerer Teil ist, sind im allgemeinen andere (die Endophysik ist verschieden von der Exophysik). Gödels Beweis ist das erste Beispiel in der Mathematik. In der Physik ist

es nötig, explizite Beobachter in die Modellwelt mit aufzunehmen. Gehirnmodelle sind ein Beispiel.

Makroskopische Gehirnmodelle sind jedoch ihrem Wesen nach nicht explizit. Es wird deshalb ein explizites mikroskopisches Universum eingeführt in Form einer eindimensionalen Hamiltonfunktion klassischen Typs, in dem "formale Gehirne" als explizite dissipative Strukturen im Sinne Prigogines existieren können. Die zugehörige Endophysik ist noch weitgehend unerforscht. Als ein erster Schritt werden die Implikationen untersucht, die entstehen, wenn der Beobachter ununterscheidbare Teilchen enthält (Gibbs-Symmetrie). Das Postulat von Norman Campbell – ein rasches Hin- und Herschwanken der Zeilachse auf der Mikroebene – erweist sich als Implikation. Nelsons Postulat und damit auch die Schrödingergleichung folgen als Korollare. Es kann daher eine "nichtlokale" Schnittstelle durch eine lokale Theorie erzeugt werden. Mikroskopische Eigenschaften des Beobachters können "hochperlen", um die makroskopische raum-zeitliche Erscheinungsform der Modellwelt zu beeinflussen. Die Physik wird von der Gehirntheorie abhängig.

Endophysik war bisher weitgehend auf die Science Fiction beschränkt. Das beste Beispiel ist immer noch "Simulacron Drei" von Daniel F. Galouye (1), das versehentlich in Hofstadler und Dennets (2) Anthologie für die Computerkognitionsforschung relevanter Belletristik fehlt. Galouye läßt eine ganze Welt als Computer-Simulation entstehen. Der Operateur ist befähigt, auf diese Welt einen Blick durch die Augen der "Identitäts-Einheiten" – der armen Bewohner jener Welt – zu werfen. Einer der Bewohner, mit der Code-Nummer ZNO (Zeno), muß leider herausprogrammiert werden, da er Verdacht schöpfte und im Begriff ist, seine Mitbewohner damit anzustecken. Erst später entsteht Grund zu der Annahme, daß sein Schöpfer selbst ebenfalls ... – aber vielleicht möchte der Leser die Geschichte lieber selber lesen. (Schließlich findet das Liebespaar aus verschiedenen Realitätsstufen zusammen, da ja kein grundsätzlicher Unterschied zwischen zwei Subroutinen besteht, die sich nur in der Schleifennummer unterscheiden.)

Kurz nachdem Gödel (3) seinen berühmten Beweis der Unvollständigkeit (von innen) der Arithmetik vorgestellt hatte, begann sein Freund von Neumann der Frage nachzugehen, ob vielleicht die Quantenmechanik eine ähnliche Beschränkung darstellt – diesmal in einem physikalischen Zusammenhang. Glücklicherweise war von Neumann in der Lage zu beweisen daß wenn man die Quantenmechanik als die grundlegendste physikalische Theorie akzeptiert, welche alle anderen möglichen Theorien als Spezialfälle mit umfaßt, tatsächlich kein Grund zur Besorgnis besteht. Die Struktur der Quantenmechanik gewährleistet nämlich, daß "die Informiertheit des Beobachters über den eigenen Zustand" aus dem Formalismus herausfällt (4). Daß eine solche Art von "Resultat" besonders leicht Verdacht erregt bei gewissen prädisponierten Gemütern konnte von Neumann noch nicht erkennen; er konnte ja unmöglich Galouye gelesen haben.

Ungefähr ein halbes Jahrhundert zuvor hatte ein ähnlicher physikalischer Alptraum bereits Maxwell (5) verfolgt (und laut Boltzmann (6) auch Loschmidt). Maxwell vermutete, daß vielleicht im allgemeinen zwei Typen von physikalischen Gesetzen existieren. Ein Beispiel der ersten Art wäre Newtons Gesetz, wenn es auf Himmelskörper angewandt wird: Es macht keinen Unterschied, ob man sich selbst auf einem dieser Körper befindet oder nicht. Ein Beispiel der zweiten Art wäre erneut Newtons (bzw. Hamiltons) Gesetz, aber diesmal angewandt auf die vielen, mikroskopischen Körper, deren mechanische Interaktionen als die Grundlage der Thermodynamik angesehen werden. Derselben Welt anzugehören, würde in dem zweiten Fall einen entscheidenden Unterschied ausmachen. Ein der betreffenden Welt angehörendes Wesen kann Wärmeenergie nicht ohne Temperaturgefälle in mechanische Energie zurückverwandeln, während ein außerhalb stehendes Wesen (Dämon) dies kann. Diese Erkenntnis von Maxwell (5), die er nicht betonte, blieb übrigens merkwürdigerweise unbeachtet. Die beiden bekannten Beweise von Szilard (7) und Brioulin (8), daß der Dämon – der eine kleine Falltür (die nahezu ohne Masse ist) im richtigen Moment öffnen und schließen kann –, nicht funktionieren kann, gelten nur unter der Annahme, daß der Dämon selbst ein Teilsystem der betreffenden Welt ist. Er kann dann seine Aufgabe tatsächlich nicht mit einem Nettogewinn ausführen.

Die Tatsache, daß ein einfacherer Mechanismus als ein intelligentes Wesen ausreicht, um denselben Effekt zu erzielen, wurde übrigens zunächst übersehen. (Es muß lediglich die fast masselose Falltür von außerhalb der betreffenden Welt ausgekühlt werden, d.h. eine infinitesimale Menge kinetischer Energie muß heimlich entfernt werden (9).) Das Ergebnis, daß ein analoger Effekt innerhalb der Welt nicht erzielt werden kann, bleibt dennoch richtig, da eine Kühlmaschine für ein einzelnes Teilchen – die Falltür voraussichtlich noch einmal mindestens die gleiche Menge an freier Energie verbrauchen wird, wie durch die Kühlung der Falltür gewonnen wird. Dies bezieht sich jedoch auf ein im System befindliches Wesen, das nicht den Namen "Dämon" verdient. Für ein außerhalb befindliches Wesen (Dämon) gelten diese Beweise alle nicht. In der Tat, wenn man selbst an der Tastatur eines Computers sitzt, in welchem ein Hamiltonsches Universum simuliert wird, dann ist es ganz

einfach, jeden der beiden genannten Zaubertricks durchzuführen: Man kann entweder die 10. Stelle nach dem Komma in der Position eines bestimmten Teilchens in einem strategisch gewählten Moment gezielt verändern (Maxwells Zaubertrick), oder man sorgt dafür, daß ein bestimmtes Teilchen – die Falltür – ganz schwach und vom Innern der Welt unmerkbar gekühlt wird.

Daher ist der zweite Hauptsatz der Wärmelehre endophysikalischer Natur. Maxwell hatte recht mit seinem Verdacht. Dasselbe gilt für Smoluchowski (10), der einige Jahrzehnte später seine verbesserte Version des Dämons vorstellte. Er schlug eine Methode vor, wie man selbst zu einem Dämon werden könnte. Man braucht dazu nur modern ausgedrückt – eine hochempfindliche Nachtsicht-Infrarot-Brille, eine mit Wasser gefüllte Schüssel, einen ganz normalen Löffel, ein verdunkeltes Zimmer und zwei Thermosflaschen, eine rot und eine blau. Dann braucht man nur geduldig zu schöpfen: "helle" Portionen der Flüssigkeit in die rote Flasche, "dunkle" in die blaue. Da ein Erfolg des Experiments eine Sensation wäre, kommt es auf die Größe des Effekts zunächst nicht an. Bereits der kleinste konsistente Effekt (10–10 Grad), den man ohne Zuhilfenahme eines großartig ausgestatteten Labors erzielen kann, wäre ausreichend. Smoluchowski erkannte, daß wenn man sicher ist, daß selbst diese entschärfte (da makroskopische) Version des Dämons nicht funktioniert, dies automatisch bedeutet, daß man zum Ausgleich an die physikalische Existenz von kontra-intuitiven, nichtlokalen makroskopischen Korrelationen glauben muß, die so raffiniert sind, daß sie den bei einer nicht-mikroskopischen (sondern makroskopisch-phänomenologischen, z.B. stochastischen) Denkweise unvermeidbaren Erfolg exakt aufheben.

Als nächstes wäre der Ehrenfest'sche Dämon an der Reihe: Einstein. In einem Brief (11) verglich Ehrenfest genauer dessen unermüdliche Versuche, eine Lücke in der Konsistenz der Quantenmechanik aufzudecken – mit einem kleinen "Teufelchen in der Box", das "gewissermaßen Perpetuum mobile zweiter Art" spielen möchte, "um die Ungenauigkeitsrelation zu durchbrechen". Tatsächlich hat neuerdings die Quanten-Nichtlokalität (12) einen ähnlichen Stellenwert angenommen im Denken der Physiker, wie seinerzeit Smoluchowskis thermodynamische nichtlokale Korrelationen (falls man sie ernstgenommen hätte). Zwei weitere wichtige Namen in der Geschichte der Endophysik sind Popper (13) und Finkelstein (14). Popper überredete Einstein, seinen (Poppers) Beweis zu akzeptieren, daß vollständige Selbstbeobachtung in der (von ihnen als deterministisch angenommenen) Physik unmöglich ist, und daß man versuchen müsse, eine gödelartige Formulierung der Quantenmechanik zu finden (13). Finkelstein (14) entwarf ein Programm für eine "holistische" Physik, im Geiste des späten Bohr, aber diskret. Hypothetisch führte er sowohl den Quantenlimes wie den relativistischen Limes der Beobachtung auf die Tatsache zurück, daß das Ganze uns nicht zugänglich ist. Später gab er ein explizites Beispiel an für einen endlichen Automaten (Computer), dessen intern festgestellter Zustand ein anderer als der objektiv existierende ist (15). Um dieselbe Zeit erklärte er sich mit den beiden Begriffen "Physik von außen" und "Physik von innen" (16) einverstanden, indem er die Synonyme "Exo- und Endophysik" als griffigere Namen vorschlug (17). Der Name "Endophysik" ist seine Kreation. Im selben Jahr beschrieb Fredkin (18) das erste explizite, computersimulierbare Modell-Universum – einen zellulären Automaten vom reversiblen Typ. (Vorausgehende auf zellulären Automaten basierende "Welten" – wie Conways Spiel "Life" (19) – waren alle irreversibel gewesen.)

Dieses Universum besteht ausschließlich aus Information. Sobald man es in irgendeiner konkreten Form realisiert hat (wobei die verschiedensten Arten von Hardware denkbar sind), liegen seine Eigenschaften vollkommen fest. Es beginnt, "materielle" Eigenschaften von selbst intern zu erzeugen z.B. Ansammlungen von Hunderten von schwarzen Pixels, die sich bei einer bestimmten Größe stabilisieren und dann gegenseitig anziehen wie Elementarteilchen, mit einem wohldefinierten Kraftgesetz wie dem Coulombschen. Fredkins Hoffnung ist, daß sich eines Tages alle Naturgesetze, wie wir sie kennen, als Implikationen aus einem solchen reversiblen zellulären Automatengesetz ergeben. Das einzige, worauf es ankommt, ist, daß man mit Glück auf die richtige reversible lokale Regel stoßen muß. Die Zahl solcher Regeln, die empirisch durchgecheckt werden müßten, ist unbekannt. Möglichen Einwänden hinsichtlich der Existenz nichtlokaler Phänomene in der Quantenmechanik wird mit der Behauptung begegnet, daß nichtlokale Korrelationen über große Entfernungen in großem Umfang zu beobachten seien, wenn man solche Regeln in Echtzeit rasch auf dem Computer ablaufen läßt [18]. Man sieht, daß die Unterscheidung zwischen Exophysik und Endophysik hier implizit wieder auftritt. Ein Problem mit dieser expliziten Modellwelt besteht darin, daß bisher keine dissipativen makroskopischen Prozesse simuliert werden können, da selbst ein einziges "Elementarteilchen" aus Hunderten von Zellen (Variablen) besteht. Irreversible "Beobachter" lassen sich noch nicht in dieses Modell aufnehmen.

Diese Computerwelt gehört daher noch immer in die erste oder "allgemeine" Phase der Endophysik. In dieser Teildisziplin versucht man, allgemeine Grenzen, die sich unweigerlich von innen her ergeben, zu finden. Gödel lieferte das Paradigma und Maxwell vorher das erste mögliche physikalische Beispiel.

Die zweite, oder "spezielle" Phase der Endophysik hingegen kommt nicht ohne Gehirntheorie aus. Annahmen, die nicht vollkommen allgemeiner Natur sind, sondern bei der Beschreibung expliziter Beobachter ("Gehirne"), die in der Modellwelt enthalten sind, notwendig werden, werden in diesem Zweig der Endophysik wesentlich. Dies macht die Verbindung zu Galouyes – und Lems (2) – Science Fiction noch enger. In diesem Zusammenhang ist erwähnenswert, daß das erste potentiell bewußte Computerprogramm erst 1977 entwickelt wurde (20) (vgl. auch (21) für einen vollständigeren Schaltplan). Es ist genau wie seine Vorgänger – aus der Science-Fiction-Literatur – nichtreversibel. All diese Gehirnmodelle bedürfen daher noch der Einbettung in ein feineres (reversibles) Universum. Bisher fehlt jedoch ein konkretes Beispiel einer mikroskopisch spezifizierten Welt, die auf der Makroebene so komplexe Teilsysteme wie Beobachter enthält. Eine spezifische Welt dieses Typs wird nachfolgend vorgestellt.

Literatur:

(1)

D.F. Galouye, "Simulacron Drei". Heyne Verlag, München 1965. (Englisches Original 1964.) → [zurück](#)

(2)

D.R. Hofstadter und D.C. Dennett, "The Mind's I", BasicBooks, New York 1981. (Deutsch "Einsicht ins Ich", Klett-Cotta, München 1992.) → [zurück](#)

(3)

K. Gödel, Über formal ununterscheidbare Sätze der Principia mathematica und verwandter Systeme 1, Monatshefte f. Math. u. Physik 38, 173-198 (1932). → [zurück](#)

(4)

J. von Neumann, "Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik". Springer-Verlag, Berlin, 1932, 1981, S. 233. → [zurück](#)

(5)

J.C. Maxwell, "Theory of Heat", Appleton, New York 1872, S. 308. (Nachdruck: AMS Press, New York 1972.) → [zurück](#)

(6)

L. Boltzmann, In Memoriam Josef Loschmidt. In: "Populäre Schriften", Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1905, S. 150-159. → [zurück](#)

(7)

L. Szilard, Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen, Z. f. Physik 53,840-856 (1929). → [zurück](#)

(8)

L. Brioullin, Maxwell's demon cannot operate: Information and entropy 1, J. Appl. Phys. 22, 334-337(1951). → [zurück](#)

(9)

O.E. Rössler, Macroscopic behavior in a simple chaotic Hamiltonian system, Lecture Notes in Physics, 179, 67-77 (1983). → [zurück](#)

(10)

M. von Smoluchowski, Experimentell nachweisbare, der üblichen Thermodynamik widersprechende Molekularphänomene, Physik. Z. 13, 1068-1080 (1912); siehe auch: Physik. Z. 17, 557, 585 (1916). → [zurück](#)

(11)

P. Ehrenfest, Brief an Samuel Goudsmit, George Uhlenbeck und Gerhard Dieke, November 1927. In: "Niels Bohr" (K. von Meyenn, K. Stolzenberg und R.U. Sexl, Hrsg.), S. 152-155, Vieweg, Braunschweig 1985, S. 152. → [zurück](#)

(12)

J.S. Bell, On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox, Physics 1, 195-200 (1964). → [zurück](#)

(13)

K.R. Popper, Indeterminism in classical physics and quantum physics 1, Brit. J. Philos. Sci. 1, 117-133 (1951), S. 129. Siehe auch: Autobiography of Karl Popper. In: "The Philosophy of Karl Popper" (P: A: Schilpp, Hrsg.), Bd. 1, S. 3-181. Open Court, La Salle, Ill., 1974, S.1021. → [zurück](#)

(14)

D. Finkelstein, Holistic methods in quantum logic. In: Quantum Theory and the Structures of Time and Space", Bd. 3 (L. Castell, M. Drieschner und C.F. von

Weizsäcker, Hrsg.), S. 37-60. Carl Hanser, München 1979. → [zurück](#)

(15)

D. Finkelstein und S.R. Finkelstein, Computer interactivity simulates quantum complementarity, Int. J. Theor. Phys. 22, 753-779 (1983). → [zurück](#)

(16)

O.E. Rössler, Chaos and chemistry. In: "Nonlinear Phenomena in Chemical Dynamics" (C. Vidal und A. Pacault, Hrsg.), S. 79-87. Springer Verlag, New York 1981. → [zurück](#)

(17)

D. Finkelstein, Brief vom 23. Juni 1983. (Kapitel "Namensgebung" dieses Buches.) → [zurück](#)

(18)

E. Fredkin, Digital information mechanics, Preprint 1983; Digital mechanics, Physica D 45, 254-270 (1990). → [zurück](#)

(19)

M. Gardner, "Wheels, Life and Other Mathematical Amusements". Freeman, San Francisco 1983. → [zurück](#)

(20)

S.M. Kosslyn und S.P. Schwarz, A simulation of visual imagery, Cognitive Sci. 1, 267-295 (1977). → [zurück](#)

(21)

O.E. Rössler, An artificial cognitive map system, BioSystems 13, 203-209 (1981). → [zurück](#)