

M I K R O
K O N S T R U K
T I V I S M U S

*Standpunktwechsel:
Gedanken zur Übersetzung*
Am 11. 10. 1994 war Prof. Dr. Rössler für einen Nachmittag Gast in der Kunsthochschule für Medien. Er war eingeladen, während des Symposiums ›Einbildungskräfte‹ über das Wechselverhältnis zwischen Menschen und Maschinen zu sprechen. Rössler hat sich diesem Thema erzählerisch genähert, indem er eine Episode aus dem Leben des Philosophen und Naturwissenschaftlers Descartes beschrieb. Dabei wurde deutlich, daß für das Verhältnis von Menschen und Maschinen die Grenze zwischen der Innenwelt und der Außenwelt von Systemen entscheidend ist. Nach Rösslers These trägt die Computerentwicklung dazu bei, diese Grenze genauer zu bestimmen. Gelingt es, diese Grenze zu definieren, wird es möglich, die Welt aus den Angeln zu heben. Nur ist fast sicher, daß das unbemerkt geschehen wird, wie Rössler anhand einer These von Everett erläuterte, der im Pentagon gearbeitet haben soll. Eine totale Weltvernichtungswaffe wird mit Everetts Theorie denkbar, die im folgenden Text zum ›Kinetischen Konstruktivismus‹ diskutiert wird. Diese Waffenzirkel ist so mächtig, daß die vor ihrem Einsatz bestehende Welt mitsamt Vergangenheit und Zukunft ausradiert wird. Hier bezieht Rössler in seine Argumentation auch das Unbehagen ein, das in dem Film ›Welt am Draht‹ vermittelt wird. Ebenso denkbar ist nach Rösslers Ausführungen zum ›Weltenspringen‹, daß mit Beherrschung dieser Grenze ein Künstler- und Philosophentraum Wirklichkeit werden könnte, nämlich die Verwandlung einer ›ganzen‹ Traumwelt in eine ›ganze‹ Realität. Das kann man auch ›Seelenwanderung‹ nennen.

Mit diesen anschaulichen Übertragungen lenkt Rössler die Aufmerksamkeit auf einen Bereich, den man aus Bequemlichkeit geneigt ist, den Experten zu überlassen. Die Rede ist von der Quantenmechanik und der Mikrophysik, von der Laien ausgeschlossen sind. Daß quantenmechanische Vorgänge nicht nur theoretisch vertraute Weltbilder erschüttern, sondern auch im Alltag anzutreffen sind, ist ein Faktum, das man im Gespräch mit Herrn Rössler erfahren kann. Fragt man ihn, wer denn eigentlich Quantenmessungen verwendet, dann verweist er bei-

spielsweise darauf, daß Lichtüberlagerungen quantenmechanische Vorgänge sind. Sie kann man wahrnehmen, wenn bei Sonnenschein Blätter von einem Baum herabfallen und ›Sonnenkringel‹ hindurch lassen. Aber diese Erfahrung tritt zurück, wenn man den Denkstil des Wissenschaftlers beobachtet, dem der ›Rössler-Attraktor‹ seinen Namen verdankt. Sei es als Zuhörer bei seinen Vorträgen oder bei der Durchsicht seiner englischen Schriften, die in Windsor, Budapest, Santa Fe, Kyoto und Köln erscheinen: Man erlebt ›kausale Schwankungen‹, da Rössler zwischen Standpunkten schaltet, die sich in der Wissenschaft sonst auszuschließen scheinen. Er bildet in seiner Argumentationsweise die rapide Folge von Richtungswechseln nach, die quantenmechanisch belegt ist, indem er ein Phänomen in ›rascher Folge‹ von innen und von außen beschreibt.

Einen einmaligen Standpunktwechsel hat Kant schon in der Philosophie beschrieben: »Es ist hiermit eben so, als mit den ersten Gedanken des Kopernikus bewandt, der, nachdem es mit der Erklärung der Himmelsbewegungen nicht gut fort wollte, wenn er annahm, das ganze Sternheer drehe sich um den Zuschauer, versuchte, ob es nicht besser gelingen möchte, wenn er den Zuschauer sich drehen, und die Sterne in Ruhe ließ«. ¹⁰ Rössler erweitert dies insofern, als er die Notwendigkeit erkannt hat, rapide unterschiedliche Perspektiven experimentell und argumentativ einzunehmen. Diese Notwendigkeit entspringt einer wissenschaftlichen Haltung, die eine lange Tradition besitzt und besonders in den Talmudschulen Osteuropas gepflegt wurde. Dort wurden die Schüler nicht mit endgültigen Antworten belehrt, sondern auf Wege verwiesen, unbeantwortbare Fragen zu finden. Levinas, ein jüdischer Philosoph, der für Rösslers Werdegang entscheidend ist, war Mitglied dieser Kultur. Diese weitsichtige Strategie im Umgang mit endlichem Wissen schlägt sich in dem Stil, aber auch in der Literatur nieder, die Rössler einbezieht. Nicht nur, daß er physikalische, chemische und biologische Standpunkte einnimmt und Disziplinen spannungsreich miteinander in ein Verhältnis setzt. Auch die Welt des Krimis, der Science Fiction und der dichtenden vorsokratischen Forscher werden Teil seiner Argumentation.

Der Text ›Mikrokonstruktivismus‹ stellt eine Schnittfläche dar, die zwischen zahlreichen Welten liegt. Große Worte wie ›Freiheit‹, ›Gesetz‹, ›Realität‹ sind Teil dieser facettenreichen Schnittfläche. Sie ermöglichen rasche Zugänge auf Rösslers Text. Doch wie bei dem interface zwischen der Makrowelt und der Mikrowelt, das Rössler beschreibt, ist es auch bei der Schnittstelle zwischen Gedankenwelten: Das Maß, mit dem man meint, die Gedanken beobachten zu können, ist abhängig von den internen Voraussetzungen. Was gleichbedeutend ist mit der Fest-

stellung, daß man über das Verhalten der Schnittstelle keine Voraussagen treffen kann, also Worte verwendet, ohne ihre Wirkung voraussagen zu können. Man kann das als Aufforderung zum wilden Zitieren verstehen und seichtes Vorverständnis als Expertenwissen ausgeben. Man kann aber auch die Systeme, zwischen denen man sich als Wortnutzer befindet, wie die ›Sterne in Ruhe lassen‹, indem man zunächst einmal akzeptiert, daß sie komplex und anders sind. Diese Geduld wird fruchtbar, wenn sie einhergeht mit einer radikalen Infragestellung des eigenen Standpunktes. Als Trost in dieser Unsicherheit mag eine Anekdote dienen, die dem Atom-Theoretiker Niels Bohr nachgesagt wird. Er soll über der Eingangstür seiner Skihütte ein Hufeisen gehängt haben. Auf die Frage wie er als rationaler Forscher, abergläubische Symbole benutzen könne, soll er geantwortet haben, daß er nicht an die Kräfte der Hufeisen glaube, aber gehört habe, daß sie auch wirken, wenn man nicht an sie glaube. (Nils Röllner)

ZUSAMMENFASSUNG

Eine der bedeutendsten Lehren der Gehirntheorie ist der Konstruktivismus: Die Realität ist eine gefälschte Realität, weil die ›Anschauungsformen der Wahrnehmung‹ im dynamischen Gehirnverhalten implizit die Eigenschaften der Realität zügeln. Eine kalte Eidechse sieht die Welt anders als eine warme Eidechse. Der Konstruktivismus war bisher auf den makroskopischen Bereich beschränkt. Eine ›mikroskopische‹ Sicht wird vorgestellt. Hierbei wird die reversible Mikrodynamik betrachtet, die der irreversiblen Makrodynamik des Gehirns zugrunde liegt. Der Einfachheit halber wird das klassische kinetische Universum vorausgesetzt. Wie im Makrokonstruktivismus wird ein ›interface‹ gebildet, das sowohl von der Dynamik abhängig ist, die außerhalb des Beobachters besteht, als auch von der Dynamik, die im Inneren des Beobachters abläuft. Aufgrund der mikroskopischen Natur der hier in Betracht stehenden Dynamik ist sie jedoch nicht durch makroskopische Mittel korrigierbar und deshalb ist sie auch nicht unter gewöhnlichen Umständen erkennbar. Die Mikrodynamik im Inneren des Beobachters ist effektiven Zeitumkehrungen im Mikromaßstab unterworfen. Dies ist äquivalent zur Existenz rapider ›Schwankungen‹ in der Kausalität, die außerhalb des Beobachters liegt. Die raumzeitlichen Eigenschaften der äußeren Realität werden dadurch nichtlinear im interface verzerrt. Die Vorhersagen, die durch den Mikrokonstruktivismus (oder gleichbedeutend: die Endophysik) gemacht werden, enthalten eine Störung von der Größe einer Einheitswirkung sowie Nichtlokalität. Zwei unerwartete Voraussagen sind: eine ›doppelte‹ Nichtlokalität und Kovarianz mit einem rotierenden

Bezugssystem. Die Hauptvorhersage – Existenz einer beobachter-relativen ›objektiven Realität‹ – ist daher falsifizierbar.

EINLEITUNG

Die Bedeutung der nichtlinearen Dynamik für das Verständnis des Gehirns wurde von Gurel¹ und Tsuda² betont. Dynamisches Denken wird heute im Zeitalter der neu entdeckten 40-Hertz-Rhythmik des Gehirns³ weitläufig akzeptiert. Eine Beziehung zu älteren Darwinistischen Ansätzen der Gehirntheorie (wie deduktive Biologie⁴) läßt sich wahrscheinlich aufzeigen.

Wenn man die Angemessenheit einer aus dynamischen und evolutionären Ansätzen kombinierten Theorie der Gehirnfunktion akzeptiert, ergeben sich prekäre erkenntnistheoretische Folgerungen⁵. Farbe ist beispielsweise ein halluzinationsartiges Artefakt, das keine Grundlage in der Physik besitzt, wie Helmholtz betonte⁶. Ein interessantes zweites Artefakt ist das ›Jetzt‹ der subjektiven Wahrnehmung, das den Charakter einer unphysikalischen ›mehr als eindimensionalen Zeit‹⁷ besitzt (siehe auch⁸).

So entsteht das Problem des interface zwischen Gehirn und Welt (siehe⁹). Um die Natur dieses Problems zu verstehen, ist es notwendig, zwei Standpunkte auf einmal einzunehmen, den eines hypothetisch externen (Super-) Beobachters und den des im Gehirn erzeugten Fensters, das für den internen Beobachter gilt. Offensichtlich besteht für diesen internen Beobachter die Gefahr eines unendlichen Regresses, da die vorausgesetzte vollkommene Exoperspektive niemals in dem erforderlichen Maß zugänglich ist. Deshalb kann nur der erste Schritt der Iteration, die von Kant¹⁰ mit dem Kosenamen ›Kopernikanische Wende‹ versehen wurde, sicher durchgeführt werden. Beides, sowohl das ›auto‹ (das Selbst des Beobachters) und die ›Welt‹ werden gemeinsam erzeugt¹¹. Im folgenden wird dieses ›doppelte Denken‹ in den Mikrobereich ausgedehnt.

RAUM UND ZEIT

Raum und Zeit sind abhängig vom Gehirn, wie Boscovich¹² behauptete. Als einfache Veranschaulichung kann die Geschwindigkeit der dynamischen Prozesse, die im Gehirn ablaufen und dadurch Zeittransformationen bewirken, dienen. Einer nachtkalten Eidechse, die nach einer sonnigen Steinwand sucht, erscheinen zahlreiche Ereignisse zu schnell, als daß sie diese erfassen könnte. Das Beispiel zeigt, daß ›die erzeugten Eindrücke‹ (Boscovichs Bezeichnung für ›interface‹) für zwei objektiv unterschiedliche Situationen (kaltes

Gehirn/langsame Umgebung und warmes Gehirn/schnelle Umgebung) dieselben sein können. Dieses Prinzip wurde zunächst auf der Grundlage eines anderen Beispiels formuliert (Anwesenheit oder Abwesenheit einer langsamen gemeinsamen Rotation von Beobachter und Welt¹²), das Boscovich von Kopernikus übernommen hatte.

Während aller Raum und alle Zeit durch das Gehirn konstruiert werden, geht das Boscovichsche Differenzprinzip noch weiter. Es besagt, daß gemeinsame Veränderungen im Gehirn und in der Umgebung sich aufheben können. Es sagt vorher, daß die wahrgenommene virtuelle Realität sowohl von den Eigenschaften der externen Welt als auch von denen des beobachtenden Systems in gleicher Weise abhängig sind. Zwei objektiv unterschiedliche raum-zeitliche Situationen können deshalb identisch sein, soweit es das interface betrifft. Eine nachtkalte Eidechse wird eine sich langsam bewegende Umgebung genauso schnell erleben wie eine warme Eidechse eine sich schnell bewegende Umgebung.

Die Stärke dieses Äquivalenzprinzips ist noch nicht kartographiert worden. Um eine Idee von seinem möglichen Umfang zu erhalten, kann man sich eine vollkommen ungewohnte Raum-Zeit (eine ›durchgerührte‹) vorstellen und feststellen, daß, je nachdem wie man den Schnitt zwischen einem Teilsystem und dem Rest der betreffenden Welt legt, eine vollkommen gewöhnliche Raum-Zeit im interface herauskommen kann. Umgekehrt kann man auch von einer vollkommen gewohnten ›Zaum-Reit‹ ausgehen und ein vollständiges Durcheinander im interface erzeugen (›Reim-Zaut‹), wie wir sehen werden.

KONSTRUKTIVISMUS ODER HOLISMUS?

Konstruktivismus ist eine Form des Holismus. Er ist ein Versuch, das Ganze ausgehend von einem Schnitt zu rekonstruieren. Hierbei nimmt das gewählte methodische Vorgehen oft genau den anderen Weg. Man beginnt, indem man ›heuristisch‹ eine bestimmte absolute Realität annimmt. Dann leitet man Eigenschaften des darin existierenden interface ab und setzt sie als mögliche Voraussagen über die Realität an. Ein Beispiel ist Uexkülls Unterscheidung zwischen ›Umwelt‹ und ›Wirkwelt‹. Eine seiner suggestiven Erkenntnisse war: »Die Qualle hört nur den Schlag ihrer eigenen Glocke«^{14, 5}.

Der biologische Konstruktivismus im Sinne von von Foerster¹⁵ und das ›holistische‹ Denken in der Physik (im Sinne von Bohm¹⁶ und Finkelstein¹⁷) sind eng verwandt. Das zuerst genannte Paradigma ist makroskopisch und klassisch, indem es in der wahrge-

nommen Struktur der Welt nach (interface-ähnlichen) Folgen sucht, die der Anschauung zuwider laufen (kontraintuitiv). Das andere Paradigma ist mikroskopisch und nicht klassisch und hält nach kontraintuitiven (interface-artigen) Folgen in der physikalischen Struktur der Welt Ausschau. Die Hoffnung im zweiten (physikalischen) Fall ist es, Merkmale der empirischen Quantenrealität aus der vorausgesetzten (›Verborgene-Variablen‹) Realität abzuleiten, die entweder neuartige (Nichtstandard-) Kraftfelder¹⁸ enthalten oder neuartige (Nichtstandard-) Logiken verwenden¹⁷. Die methodische Analogie zwischen biologischen Konstruktivismus und physikalischen Holismus erlaubt den Gebrauch desselben Worts für beide Ansätze ›Konstruktivismus‹. Der klassische biologische Konstruktivismus wird dann zum ›Makrokonstruktivismus‹, der physikalische Holismus zum ›Mikrokonstruktivismus‹.

Ein drittes Beispiel neben Bohms und Finkelsteins nichtklassischen Vorschlägen in der Mikroklasse ist der klassische Ansatz, den Popper vorgeschlagen hat¹⁹. Im folgenden wird ein viertes Beispiel betrachtet, das mit Popper verwandt ist, aber den Vorteil besitzt, daß es gegen ein berühmtes Gegenargument immun ist, das alle Ansätze, die mit verborgenen Variablen arbeiten, zu disqualifizieren scheint. Es wurde von Bell entdeckt²⁰.

DAS PROBLEM DER LOKALITÄT IM MIKRO-KONSTRUKTIVISMUS

Eine Absicht des Mikrokonstruktivismus ist die erneute Herleitung einiger (oder aller) Merkmale der Quantenrealität als vom *interface* erzeugte Eigenschaften. Zum Beispiel gibt Bohms deterministischer Verborgener-Variablen-Ansatz zur Quantenmechanik (das ›Quantenpotential‹¹⁸) erfolgreich jede beobachtbare Eigenschaft der Quantenmechanik wieder. Trotzdem sollte erwähnt werden, daß dem Quantenpotential ein expliziter interner Beobachter und ein *interface* fehlen - eine Tatsache mit weitreichenden Folgen (siehe unten). 1964 entdeckte Bell²⁰, daß Bohms Theorie der verborgenen Variablen nicht in der Lage ist, ein wichtiges Merkmal der Quantenmechanik zu erklären: die ›Nichtlokalität‹. Die Nichtlokalität besteht darin, daß eine Messung überlichtschnell das Ergebnis einer entfernten anderen Messung (eines ›Zwillings‹-Teilchens) beeinflusst²⁰. Der Grund für das Versagen von Bohms Theorie liegt – oberflächlich gesprochen – in der Nähe, die Bohms Formalismus zur Quantenmechanik besitzt, so daß die Eigenschaft der Nichtlokalität von Beginn genauso eingebaut ist wie in die Quantenmechanik. Der tiefere Grund liegt nach den Überlegungen Bells jedoch darin, daß jede deterministische Theorie, die mit verborgenen Variablen arbeitet und die wie Bohms

Theorie erfolgreich die Quantennichtlokalität wiedergibt, von Anfang an selbst nichtlokal sein muß (wie Bohms)²⁰.

Dieses berühmte Theorem bedeutet auf den ersten Blick das Ende jedes mikrokonstruktivistischen Ansatzes zur Erklärung der Quantenrealität, insofern dieser Ansatz auf klassischen (das heißt: deterministisch und lokal) verborgenen Variablen beruht. In unerwarteter Weise verhindert eine subtile Wendung, daß Bells Theorem auf diese Situation angewendet werden kann. Die schon erwähnte Tatsache, daß - im Gegensatz zu Bohms späteren Holismus¹⁶, der einen Schnitt einführt - in Bohms Theorie der verborgenen Variablen ein expliziter interner Beobachter und ein *interface* fehlen, gewinnt eine unerwartete Bedeutung. Denn diese Tatsache ging in Bells Beweis als eine explizite Annahme ein. Das Theorem trifft nur auf solche Theorien mit verborgenen Variablen zu, in denen die tieferliegende Realität (Bells Lambda-Parameter) die Ergebnisse der nichtlokalen Messungen ›direkt²¹ erzeugt. Dies ist nicht die Regel, sondern eher die Ausnahme in mikrokonstruktivistischen Theorien. In dem allgemeineren (›Boscovichschen‹) Fall ist die Realität des *interface* nicht im wesentlichen mit der tieferliegenden objektiven Realität identisch, sondern hängt von den Eigenschaften des Beobachters ab. Bells Theorem ist dann nicht länger anwendbar. Daher kann eine klassische (deterministische und lokale) verborgene Realität prinzipiell die nichtlokalen Merkmale der Quantenmechanik wiedergeben – und zwar im *interface*²¹. Der Preis ist derselbe, den man bei jeder konstruktivistischen Erklärung zahlen muß: Die erhaltene Realität gilt nicht objektiv, sondern nur als eine vom *interface* erzeugte ›Illusion‹.

KINETISCHER KONSTRUKTIVISMUS

Ein erstes explizites lokales Beispiel des mikrokonstruktivistischen Ansatzes ist der *kinetische* Konstruktivismus. Die postulierte verborgene Realitätsebene ist identisch mit einer sogenannten kinetischen Theorie – Boltzmanns klassischem mechanischen Universum aus elastischen Billiardkugeln (wobei Ladung und Elektromagnetismus formal hinzugefügt werden können, wie Wheeler und Feynman²² gezeigt haben). Die Chaostheorie hat dieses mathematische Universum erneut attraktiv werden lassen^{23, 24}. Es existieren drei kaum bekannte Ergebnisse in dieser Klasse von Systemen, die hier auf Grund ihrer möglichen Relevanz für das *interface*-Problem erwähnt werden.

Die erste mathematische Folgerung ist die bekannte Tatsache, daß jedes klassische Gas im Gleichgewichtszustand ein endliches Phasenraumvolumen einnimmt (wobei das Phasenraumvolumen die Dimension einer Wirkung besitzt, die in die $3N$ -te

Potenz erhoben ist, wobei N die Anzahl der Partikel im dreidimensionalen Raum ist)²⁵. Dieses Resultat impliziert, daß eine Einheitswirkung in jedem geschlossenen System existiert. Sie ist gleich der $3N$ -ten Wurzel des Phasenraumvolumens. Dieses formale Ergebnis wäre interessanter, wenn die erhaltene Wirkung repräsentativ für eine durchschnittliche Phasenraumprojektion wäre und wenn ergänzend ihre Größe nicht unrealistische Ausmaße annähme. Beide Bedingungen stellen sich als gegeben heraus.

Die klassische Einheitswirkung ist unerwartet klein, wenn das Gas oder die Flüssigkeit mathematisch gleiche Teilchen von nur wenigen Typen enthält. Dies ist der allgemeine Fall, da Teilchen als Solitonen-ähnliche Lösungen eines klassischen Felds²⁶ angesehen werden können. Solitonen sind im einfachsten Sinne isolierte, wandernde Wellen, die unzerstörbar sind. Die Annahme mathematischer Gleichheit ist daher sehr plausibel. Das Phasenraumvolumen ist dann um den gigantischen Faktor $n_1! \cdot n_2! \cdot x \dots$ verkleinert (wobei n_1 die Anzahl der ähnlichen Partikel des ersten Typs ist und n_2 die des zweiten Typs und so weiter)²⁵. Wenn zum Beispiel mehr als die Hälfte der Teilchen zu der leichtesten Klasse gehören, die mit der Masse eines Elektrons ausgestattet sei, und wenn die Dichte und die Temperatur von biologischen halbflüssigen Materialien (Gehirnen) angenommen werden, erhält man für die Einheitswirkung, die für die ›elektronischen‹ Subdimensionen des Phasenraums zutreffend ist, den Wert

$$h^* \approx h/4\pi \quad (1)$$

bis auf einen Faktor kleiner als 2, wobei h die Planck-Konstante ist²⁷. Dieses Resultat ist unabhängig von der Offenheit oder Geschlossenheit (Entfernung von/Nähe zum Gleichgewicht)²⁸. Es versteht sich von selbst, daß die Bedeutung dieser ›Fast-Koinzidenz‹ (wobei die Konstante h^* nicht universell ist, sondern von Dichte und Temperatur abhängig) derzeit unverständlich ist. Dies kann sich ändern, wenn zum Beispiel die klassische Wirkung h^* experimentell so durchgestimmt werden könnte, daß neue zweidimensionale Quanteneffekte entstehen^{28a}.

Eine zweite mathematische Folgerung ist die Existenz eines endlichen Zeitintervalls (die mittlere Passagezeit durch eine Phasenraumzelle pro Freiheitsgrad. Sie hat die Größenordnung

$$\tau \approx h^*/\varepsilon, \quad (2)$$

wobei ε die einheitliche thermische Rauschenergie ist ($1/2 k^B T$), die für das betreffende System gültig ist²⁹. Die dritte mathe-

matische Folgerung ist ein Korrelat zur zweiten. Nach jedem Einheitszeitintervall τ' , wobei

$$\tau' \approx \tau, \quad (3)$$

tritt eine »effektive Zeitumkehr« auf. Genauer: Die Vorwärts- und die Rückwärtsbewegungen in einem chaotischen Konfigurationsraum haben gleiche lokalen Dichten. Daher gehören Trajektoriensegmente, die Phasenraumzellen durchqueren, in zwei Äquivalenzklassen, die unter Zeitumkehr identisch sind. Folglich haben die »meisten« Projektionen ihre zeitliche Orientierung nach τ' umgekehrt.

FOLGEN FÜR DAS INTERFACE

Die vorhergehenden drei Gleichungen ((1) - (3)) geben den Anschein, als besäßen sie das Potential, um eine »Entsprechung« zur Quantenmechanik in einem klassischen kinetischen Universum zu erzeugen. Demnach müssen drei spezifische Annahmen erfüllt sein, wenn man beweisen möchte, daß ein solches Ergebnis auf das interface zutrifft, das zwischen einem Beobachter, der weit vom thermodynamischen Gleichgewicht entfernt ist, und dem Rest seiner kinetischen Welt gebildet wird:

(I) Die Wirkung h^* geht als eine »Störung« in jede Mikromessung ein, die sich im interface dargestellt (»Quantenrauschen«).

(II) Zwei identische Störungen treffen im Fall zweier objektiv korrelierter Partikel (»Quantennichtlokalität«) ein.

(III) Stabile, makroskopisch dargestellte Meßergebnisse bilden sich in dem interface (»Quanteneigenzustände«).

Die Beweisbarkeit der drei Vermutungen muß auf den ersten Blick unwahrscheinlich sein. Unerwartet öffnet sich ein Weg, wenn die dritte Folgerung des vorhergehenden Abschnitts genauer betrachtet wird. Die Gleichung (3) beinhaltet eine radikale Umformung der Welt im interface. Der Grund liegt im Äquivalenzprinzip von Boscovich, das folgenden besonderen Fall einschließt: Eine Zeitumkehr im Beobachter ist gleichbedeutend mit einer Zeitumkehr in der externen Welt ohne Zeitumkehr im Beobachter¹³. Als Konsequenz folgt aus der Gleichung (3) die Existenz einer Mikroschwankung der Kausalität in der externen Welt, soweit sich letztere im interface dargestellt. Welche Eigenschaften besitzt eine kausal schwankende Welt?

EINE SELTSAME WELT

Die aufeinanderfolgenden Zeitumkehrungen in der externen Welt, nach jedem zweiten Zeitintervall der Länge τ' , berühren

nicht alle Ereignisse in der externen Welt in gleicher Weise. Das gilt nur für solche Ereignisse, die unmittelbar den Beobachter durch eine Meßkette erreichen. Für solche Ereignisse kehrt die Meßkette ihre kausale Orientierung in der Zeit über ihre gesamte Länge um. Dies ist so, weil jede ursächliche Wirkung, die sich auf das Verhalten des letzten Elements der Meßkette auswirkt, das den Beobachter trifft, in der anderen Zeitrichtung während der nächsten Zeitscheibe τ' mit dem entgegengesetzten Ver-

halten desselben Elements verbunden ist²⁹.

Es folgt – falls mindestens zwei aufeinander folgende Zeitscheiben zusammen betrachtet werden –, daß alle beobachtbaren Objekte mit dem Beobachter in einer Art von Zweiwegkausalität verbunden sind. Eine »reversible« (genauer: wirkungserhaltende) Koppelung ist impliziert²⁹. Diese Koppelung überbrückt die gesamte (sowohl räumliche als auch zeitliche) Länge der Meßkette. Daher »stört« der Beobachter die gesamte beobachtbare Welt entlang aller Kausalketten, die die Objekte mit ihm verbinden²⁹. Da die Meßketten zeitliche Ausdehnungen besitzen, die nach einem Zufallsprinzip variieren, ist die momentan gültige Welt im interface durch eine fraktale Verzerrung der gesamten Welt unter Einschluß der Vergangenheit gekennzeichnet.

Die *Vermutung I* des vorhergehenden Abschnitts (Wirkungsstörung) ist so bestätigt.

Dasselbe gilt für *Vermutung II* (korrelierte Störungen), da sie einen Sonderfall der ersten bildet: Beobachtungen mit Hilfe von zwei Meßketten eines ursprünglich zusammengesetzten Objekts, das in zwei Teilobjekte zerfallen ist²¹.

Es bleibt noch *Vermutung III* (stabile Meßergebnisse) zu untersuchen. Die Verzerrungen der gesamten Welt, die durch die Kausalschwankungen erzeugt werden, sind definitionsgemäß äußerst kurzlebig (»flüchtig«).

Vermutung III verlangt jedoch, daß sie nicht flüchtig sind. Daher gelangt man in einen Widerspruch. Er tritt im Gefolge der Katastrophe auf, die in der Gleichung (1) enthalten ist, nämlich daß h^* von der Körpertemperatur des Beobachters abhängt und eben keine universelle Konstante ist. So ist scheinbar eine

›hoffnungslose‹ Situation entstanden. In solch einem Fall ist es eine gute Strategie, mit dem Hauptfaden der Geschichte fortzufahren, als wenn nichts geschehen wäre in der Hoffnung, daß er einen Schlüssel liefert. Wir kehren also zu der seltsamen Welt des kausal schwankenden Beobachters zurück, um zu fragen, was die einschneidendsten Eigenschaften solch einer Welt sind. Es sind drei:

(i) Das Verhalten der Mikroobjekte, insofern sie sich in dem interface darstellen, ist rein illusionär (das heißt: exoobjektiv nicht existent).

(ii) Der illusionäre Charakter kann nicht unmittelbar durch den Beobachter demaskiert werden.

(iii). Auch der kurzlebige Charakter der momentanen Illusionen ist dem Betrachter nicht zugänglich.

Merkmal (iii), falls korrekt, löst das oben eingetretene Problem. Wir können deshalb fortfahren, indem wir die drei Ergebnisse im Detail ableiten.

WELTENSPRINGEN

Das konstruktivistische Paradigma ›dekonstruiert‹ Realität, indem es sie als eine Illusion auslegt (eine reine interface - Eigenschaft). Prinzip (i) des vorhergehenden Abschnitts formuliert diese Tatsache lediglich für den Mikrokonstruktivismus neu. Es ist deshalb korrekt. Prinzip (ii) behauptet, daß eine nachträgliche Überprüfung (›double checking‹) des interface-Inhalts im Mikrokonstruktivismus schwieriger ist als im Makrokonstruktivismus. Die Erklärung für diese Behauptung liegt in der Tatsache, daß im Unterschied zu Makrozuständen die Mikrozustände des Beobachters nicht willentlich aufrechterhalten werden können. Daher sind zwei Strategien blockiert, die im Makrokonstruktivismus zur Verfügung stehen, wenn es um die Korrektur einer optischen Täuschung oder eines Phantomglied-Gefühls geht – nämlich sich auf die makroskopische Argumentation zu verlassen und das Urteil anderer Beobachter. Diese Strategien sind blockiert, wenn es um die Dekonstruktion von Eigenschaften des Mikro-interface geht. Prinzip (ii) sagt dies aus. Es ist deshalb korrekt.

Prinzip (iii) kann man am einfachsten ableiten, indem man zeigt, daß es einen Sonderfall von Prinzip (ii) bildet. Trotzdem möchte man es in Anbetracht seiner zentralen Bedeutung lieber unmittelbar verstehen. Dies umso mehr, da es ergänzend zu der Eigenschaft, eine Lösung des Problems der stabilen Eigenzustände zu bieten, auch das Problem der Beobachtertemperaturabhängigkeit von h^* (zweiter Teil der Katastrophe) löst; denn

es ist klar, daß, wenn Veränderungen der im interface dargestellten Ereignisse unzugänglich sind, auch die betreffenden Mittelwerte unzugänglich sind. So führt das Prinzip (iii) erneut eine Eigenschaft in die Physik ein, die seit Heraklit nicht mehr vorgekommen war: unsichtbare Veränderung³⁰. Es bleibt also zu zeigen: Warum die Veränderung unsichtbar ist. Sie ist es, weil das interface eine ganze Welt (einschließlich der erinnerten Vergangenheit und der zu erwartenden Zukunft) enthält. Wenn sich eine ganze Welt ändert, ändert sich aber nichts. Denn eine ganze Welt enthält definitionsgemäß keine Spur einer anderen ganzen Welt. Zwei Beispiele können das verdeutlichen.

Das erste ist die uralte Vorstellung der ›Seelenwanderung‹ (Griechenland, Orient, Amerika). Mit ihr ist immer die charakteristische Behauptung verbunden, daß jedem Element aus der Geschichte der Seele die Erinnerung an die vorhergehende Inkarnation abgeht. Dies ist auf den ersten Blick nur eine Schutzbehauptung, um die Vorstellung von der Reinkarnation unfalsifizierbar zu machen. Dennoch stellt man beim zweiten Hinsehen fest, daß diese Behauptung eine logische Folgerung aus obigen Prinzip von ganzen Welten ist.

Das zweite Beispiel ist eine wenig bekannte Version der Quantenmechanik, die von Bell³¹ entdeckt wurde. Sie nimmt an, daß alle ›relativen Zustände‹ der Quantenmechanik, die von Everett³² beschrieben wurden, existieren, und zwar nicht simultan in einer neuen außerphysikalischen Dimension (wie Everetts Theorie meistens verstanden wird), sondern sequentiell entlang der Zeitachse. Die ›Wanderung‹ bezieht nicht nur fünf oder zehn Leben ein, sondern beinahe unendlich viele, da jeder Abschnitt nur ein fast unendlich kleines Zeitintervall andauert. Paradoerweise existiert hier tatsächlich keine untere Grenze; die Dauer jedes Segments spielt keine Rolle, vorausgesetzt, die individuellen Lebensabschnitte sind intern konsistent. Dieser spielerischen Idee Bells begegnet man nun hier wieder, und zwar nicht nur als Veranschaulichung alten Denkens und als eine Kuriosität in der Geschichte der Quantenmechanik, sondern als Folgerung des Mikrokonstruktivismus. Wir sahen aber, daß wenn die Prinzipien (i) - (iii) zutreffen, auch die drei Haupteigenschaften der Quantenmechanik (Rauschen, Nichtlokalität, Stabilität) wieder einbezogen werden, da sie die interface - Realität eines kinetischen Beobachters steuern (Vermutungen I-III). Damit ist die Quantenmechanik bis auf die quantitativen Details (wie die Ableitung der Schrödinger-Gleichung^{29,33}) wiedergewonnen. Die dabei erhaltene Version ist die von Bell.

ZUTEILUNGSBEDINGUNGEN

Der kinetische Konstruktivismus kombiniert eine ›Vielweltheorie‹ (Bell) mit einer ›Einzelwelttheorie‹ (Boltzmann). Als Konsequenz dieser Vereinigung kann ein neues Element der physikalischen Realität definiert werden: Zuteilungsbedingungen. Um die Natur vollständig zu beschreiben, reicht es nicht länger aus, die ›Gesetze‹ und ›Anfangsbedingungen‹ zu bestimmen (wie es Newton tat). Es wird außerdem notwendig, die ›Zuteilungsbedingungen‹ anzugeben. Newton und Einstein waren sich ihrer Existenz sehr wohl bewußt: Diejenigen Anfangsbedingungen, die sich auf ein besonderes Stück der Materie beziehen (das eigene Gehirn) oder auf ein besonderes relativistisches Bezugssystem (Inertialsystem), das jenes Stück enthält, sind etwas Besonderes. Wie auch immer: Diese Tatsache taucht nicht in der mathematischen Beschreibung der Natur auf. Aufgrund der Tatsache, daß nur ein makroskopischer Klumpen Materie im Spiel war, wurden offenbar keine Überraschungen erwartet.

Für den Mikrokonstruktivismus ist dieses bequeme Vernachlässigen unmöglich. Die Welt, die im interface erzeugt wird, existiert nie für mehr als ein ›Jetzt‹. Dieses ›Jetzt‹ ist mit einem besonderen Mikrozustand des Beobachters verbunden: Die Welt, die in dem ›Jetzt‹ gültig ist, hängt von diesem Zustand ab und wäre eine andere, wenn ein anderer als dieser Zustand herausgepickt worden wäre. Dies gilt selbst dann, wenn letzterer *dieselbe* Dynamik wie der vorhergehende besäße. Dieser neue Typ von Zustand – von ihm hängt die Welt ab – ist nicht durch die Dynamik bestimmt, sondern durch mikroskopische Zuteilungsbedingungen des folgenden Typs: Dieses spezifische Elektron (durch seine einzigartige Raumzelle gekennzeichnet³⁴) wird als zum ›Beobachter‹ gehöriges erklärt und ›jenes andere‹ als zum ›Rest der Welt‹ gehöriges. Das interface, das für den Beobachter gültig ist, hängt in kritischer Weise von dieser Zuteilung ab³³. Die allgemeine Bedeutung der Zuteilung wurde anscheinend zuletzt wissenschaftlich in der lange überholten ›Synzytientheorie‹ des Nervensystems erkannt. Sie behauptet, daß eine einzige Zelle – begrenzt durch eine einzige Membrane (ein sogenanntes ›Synzytium‹) – eine bewußte Teilmenge der Materie ausmacht³⁵.

Nun tritt eine ›mikroskopische‹ Zuteilung auf die Bühne. Mikro-zuteilung wäre eine neue äußerst intime Aktivität der Natur³⁶. Ihre Existenz in der realen Welt ist abhängig von dem Gültigwerden des Mikrokonstruktivismus (vergleiche den nächsten Abschnitt). Trotzdem taucht das Problem der Wahl ›eines interface‹ schon jetzt in Computersimulationen auf. Wenn man eine

›Billiardkugelwelt‹ im Computer hat (wie es bald möglich sein wird²¹), steht eine große Anzahl von interface-verzerrten Projektionen Schlange. Sie warten darauf, im eye phone oder auf dem Bildschirm der internen Identitätseinheit dargestellt zu werden. Erst damit werden die interne Identitätseinheit (der innere Beobachter³⁷) und der exakte Zeitpunkt, für den man sich interessiert, ausgewählt. Daher erschließt der Gedanke des interface einen völlig neuen Freiheitsbegriff, wenn es um die Beschreibung einer mikroskopisch spezifizierten Welt geht.

KONSEQUENZEN

Das Computerparadigma macht den Mikrokonstruktivismus handhabbar. Es erlaubt die Betrachtungen von spielerischen Geräten (expliziten Beobachtern²¹) – die Teil einer kompletten Welt sind – und ihres prekären Zustands, wenn sie mit der Aufgabe konfrontiert werden, ihre Welt zu verstehen. Auch wenn der Tag, an dem man tatsächlich mit ihnen sprechen kann, noch weit in der Zukunft liegt, kann man doch jetzt schon einige der relevanten Fragen formulieren. Sie können direkt auf unsere Welt angewendet werden, ohne daß man sie vorher im Computer getestet hat. Drei verschiedene Arten von Experimenten können von den Bewohnern der klassisch kinetischen Computerwelt ausgeführt werden, nachdem sie auf das interface - Problem aufmerksam geworden sind. Die erste Art zielt darauf, die ›Existenz‹ des interface zu entblößen. Die zweite Art zielt auf ein Verlassen des interface – auf indirekte Weise, indem die verborgene Ebene der objektiven Realität nach Art eines ›Blindsightexperiments‹¹³ manipuliert wird. Diese kann man so nennen, weil sie analog zu den Experimenten sind, bei denen durch Schädigung der Gehirnrinde blinde Menschen erfolgreich Bälle auffangen. Diese Fähigkeit wird von Weißkrantz als ›Blindsight‹ bezeichnet. Die dritte Art zielt auf ein ›unmittelbares Verlassen‹ des interface, indem man sich Zugang zu den Zuteilungsbedingungen selbst verschafft. Alle drei Arten von Experimenten besitzen ›Entsprechungen‹, die prinzipiell in der realen Welt durchführbar sind.

Ein Beispiel der *ersten* Klasse ist das ›relativistische Bell-Experiment‹, das bereits heute mit Hilfe eines Satelliten ausführbar wäre³⁸. Es verallgemeinert einen Vorschlag von Einstein, Podolsky und Rosen³⁹, indem es die dort vorgeschlagene lediglich ›raumhafte‹ Trennung zwischen zwei korrelierten Teilchen durch die wirksamere ›relativistische‹ (kausale) Trennung³⁸ ersetzt. Das Ergebnis des Experiments – Erhaltenbleiben der Bellschen Korrelationen – ist anscheinend nicht zweifelhaft⁴⁰. Es wird darü-

ber hinaus beweisen, daß eine einzige Quantenwelt nicht ausreicht (weil eine zweite für das andere relativistische Bezugssystem benötigt wird)^{13, 40}. Das bedeutet eine unerwartete Bestätigung von Einsteins Behauptung, daß die Quantenmechanik »unvollständig« ist³⁹. Gleichzeitig wird das Ergebnis einen starken Hinweis zugunsten der Existenz eines Beobachter-spezifischen interface liefern.

Ein Experiment in der zweiten Klasse ist ebenfalls heute durchführbar. Es ist ein Test auf Kovarianz zwischen Rotationssystemen⁴¹. Eine langsame Kopernikanische Mitrotation ist nach Bosovichs Theorem von 1755¹² nicht durch Einzelpunktmessung von Innen feststellbar. Es existiert ein wohl bekanntes Quantenexperiment – absolute suprafluide Nichtrotation⁴² –, das eine Entscheidung erlauben wird, wenn es mit größerer Genauigkeit durchgeführt wird. Absolute suprafluide Nichtrotation wird langläufig für »genuin« absolut gehalten – trotz der Tatsache, daß diese Annahme das Korrespondenzprinzip verletzt⁴¹. Der methodische Fortschritt wird bald eine Empfindlichkeitssteigerung erlauben, die es ermöglicht, die An- oder Abwesenheit von Mitrotationen des suprafluiden Heliums im Verhältnis zur Erde festzustellen (vergleiche⁴³). Das »positive« Ergebnis, das durch den kinetischen Konstruktivismus vorausgesagt wird, – Mitrotation der Supraflüssigkeit mit der Erde, auf der sich die Beobachter in Ruhe befinden – wird die Existenz einer neuen Nichtlokalität implizieren: kontrafaktuale Fernveränderung von Meßergebnissen. Das »negative« Ergebnis, das nach landläufiger Meinung mit Sicherheit zu erwarten ist – das Fehlen von Mitrotation –, ist geeignet, den kinetischen Konstruktivismus in seiner gegenwärtigen Form zu falsifizieren.

Für die dritte Klasse der Experimente gibt es gegenwärtig noch keine ausgearbeitete Entsprechung. Trotzdem verdient ein empirischer Ansatz erwähnt zu werden, der als Experiment der dritten Art verstanden werden kann. In dem Ansatz, der »Mikropsychophysik« genannt wird, wird der mikroskopische Zustand des Gehirns eines bewußten Beobachters durch die Anwendung von externen Magnetfeldern manipuliert⁴⁴. Auch eine »bloß« Bestätigung der Voraussagen der Quantenmechanik wird bereits von Interesse sein, da Fechners Methode⁴⁵ ein Novum in der biologischen Materialwissenschaft wäre. Andererseits können – weil geladene Partikel noch nicht vom kinetischen Konstruktivismus mitbehandelt werden können – bisher keine spezifischen Veränderungen im interface vorhergesagt werden.

DISKUSSION

Der Mikrokonstruktivismus ist eine Theorie des Gehirns. Gleichzeitig ist er eine neue Theorie der physikalischen Realität. Ein

klassisches kinetisches Universum wird auf der Außenseite vorausgesetzt. Dann ist auf der Innenseite eine ganze quantenähnliche Realität impliziert – als eine »interface - Realität«. Die postmoderne Dekonstruktionsgedanke wird für die Physik und die Gehirntheorie wichtig. Ebenfalls erlangt die Vorstellung der Seelenwanderung wissenschaftliche Akzeptanz. Ist das noch Physik? Erklärung ist ein freiwilliges Unterfangen. Neue Arten der Erklärung können stets zurückgewiesen werden, wenn man sich im alten Paradigma sicherer fühlt – auch wenn das in den Augen des neuen Paradigmas einen Erklärungsverzicht bedeutet. Die Frage, ob der Mikrokonstruktivismus ein neues Paradigma ist, ist müßig. Die größten Schwachpunkte des Mikrokonstruktivismus sind zugleich seine größten Versprechungen. Die zwei schwächsten Punkte sind die Beobachterzentriertheit des interface und die Idee der Zuteilung, die damit einhergeht. Der Gewinn liegt darin, daß Gleichzeitigkeit eine fraktale Struktur bekommt. Die ganze Welt mitsamt der Vergangenheit und der Zukunft wird in jedem Moment nichtlinear transformiert. Der fraktale Nebel steigt und senkt sich in einer raschen Folge, ohne daß diese Tatsache wahrnehmbar wäre. Jetztzeit wird ein integraler Bestandteil der Physik. Auf lange Sicht ist sogar eine Manipulation des Jetzt vorstellbar (indem man mit Hilfe von spezifischen Experimenten »hinter die Erscheinungen greift«)⁴⁴. Es ist daher ein Glück, daß die Beobachterzentriertheit des interface eine so starke Voraussage ist, daß ihre experimentelle Falsifikation nicht schwierig ist (siehe oben).

Eine Art »biologischer Physik« wurde vorgestellt. Das Gehirn dürfte eine aktive Rolle bei der Weltkonstruktion spielen, nicht nur aufgrund seiner makroskopischen Eigenschaften (auditiver und visueller Cortex, etc.) und seiner Makrodynamik (einschließlich der chaotischen Itineranz⁴⁷), sondern auch durch seine Mikrodynamik. Letztere vermag die raum-zeitliche Struktur der Welt, nicht nur »subjektiv« (im Sinne der korrigierenden Art des Mikrokonstruktivismus), sondern auch »objektiv« zu beeinflussen. Auf diese Weise wird eine neue Vorstellung von Objektivität in die Physik eingeführt. Es ist die »Scheinobjektivität«, die Kant in der Philosophie entdeckt hat. Kant¹⁰ lehrte, daß alles, was wir wissen können, ist, daß die Dinge an sich verschieden sind von der Erscheinungsweise in den Kategorien Raum, Zeit und Kausalität. Während die Philosophie hier an ihre Grenze gelangt, ist die Aufgabe der Physik einfacher, da sie ihre eigenen Dinge an sich konstruieren kann. Sie sind zwar nicht die wirklichen Dinge, spielen aber ihre Rolle »in Ansehung des Systems« (soweit es das System der Physik betrifft)⁴⁸.

Die Physik hat deshalb ein einfacheres Leben als die Philosophie: Sie kann heuristisch ihre eigene absolute Welt setzen. Der

infinite Regreß wird dadurch beträchtlich vereinfacht. Diese Idee führt zunächst zu dem Konstruktivismus im traditionellen (Makro-) Sinn und danach weiter zum Mikrokonstruktivismus.

Der Mikrokonstruktivismus hat zwei allgemeine Mängel. Der erste ist eine unmittelbare Konsequenz der Tatsache, daß er vom philosophischen Standpunkt aus gesehen nur eine erste Annäherung ist. Deshalb hat die erste Runde der Experimente wenig Aussicht auf Gelingen. Das erfreuliche Gegenstück ist, daß – gleichgültig wie sehr sich der Ansatz empirisch blamiert – die Philosophie davon unberührt bleibt. Der zweite allgemeine Nachteil ist die Quantenmechanik. Während eine Version von ihr als ein Mikro-interface-Phänomen abgeleitet werden kann, wie wir gezeigt haben, bleibt die Quantenmechanik nicht untätig, sondern wehrt sich. Das entscheidende Argument geht auf von Neumann⁴⁹ zurück. Von Neumann sah schon die mikrokonstruktivistische Gefahr, als er schrieb, »daß der begrenzte Informationsstand des Beobachters über seinen eigenen Zustand« der Grund für die Quantenunbestimmtheit sein könnte. Trotzdem konnte er im selben Absatz zeigen, daß der Formalismus der Quantenmechanik ausdrücklich jeden Einfluß des bekannten oder unbekanntem Quantenzustand des Beobachters auf das Ergebnis einer Quantenmessung ausschließt. Diese Behauptung von Neumanns ist möglicherweise noch technisch verbesserungsbedürftig. Zum Beispiel kann eine magnetfeld-induzierte Spaltung von Quantenzuständen im Beobachter möglicherweise einige Quantenmessungen beeinflussen, die vom Beobachter möglicherweise wahrgenommen werden⁴⁴. Wenn wir andererseits jedoch annehmen, daß von Neumanns Urteilsspruch völlig bestätigt wird, dann folgt daraus nicht notwendig, daß die konstruktivistische Erklärung der Quantenmechanik unmöglich ist. Im Gegenteil: Wenn es eine mathematische Theorie gibt, die *immun* gegen den Konstruktivismus ist – die Quantenmechanik –, dann kann das mit gleicher Wahrscheinlichkeit zwei Dinge bedeuten: Entweder hat man endlich die richtige Antwort auf die Argumente der Quantentheorie-Gegner gefunden oder die Tatsache, daß im Quantenformalismus sich genau diese Argumente aufheben, ist die stärkste mögliche Bestätigung, daß die Quantenmechanik das Produkt eines konstruktivistischen Mechanismus ist.

Wir kommen zum Schluß. Die Dekonstruktion der Welt, die aus dem biologischen Konstruktivismus folgt, kann auf den Mikrobereich ausgedehnt werden. Die einfachste mögliche Veranschaulichung ist die klassische kinetische Theorie. Der Begriff des »interface« zwischen Beobachter und Welt ermöglicht eine Verbindung zwischen dem physikalischen Holismus im Sinne von Boscovich und der modernen Technologie der Virtuellen Rea-

lität⁵⁰. Das Überleben des Mikrokonstruktivismus als neue heuristische Disziplin, die von der Chaostheorie inspiriert wird, steht und fällt mit dem Erfolg ihrer experimentellen Voraussagen.

(Ich danke Kuni Kaneko, Ichiro Tsuda, Kazuhiro Matsuo, Michael Conrad, Walther Freeman, Doyne Farmer, Jim Crutchfield, George Kampis, Peter Érdi, Bob Rosen, Hanns Ruder und Peter Weibel für Diskussionen und Nils Röller für die Übersetzung. Diese Arbeit wurde anteilig von der DFG gefördert. Sie ist J.O.R. gewidmet.)

Literatur

- 1 O. Gurel, *Topological dynamics in neurobiology*. *Int. J. Neuroscience* 6 (1973) 165-179;
O. Gurel, *Hierarchical oscillations*, in: *Proc. 13th Int. Conf. Chronobiology*, F Halberg, (Hg.) (Milano, IT Press, 1981) 325-332.
- 2 I. Tsuda, *A hermeneutic process of the brain*, *Progr. Theoret. Phys. (Suppl.)* 79 (1984) 241-259.
- 3 W. Freeman, *Simulation of a chaotic EEG pattern with a dynamic model of the olfactory system*, *Biol. Cybernetics* 56 (1987) 139-150.
- 4 O. E. Rössler, *Adequate locomotion strategies for an abstract organism in an abstract environment - a relational approach to brain function*, *Springer Lecture Notes in Biomathematics* 4 (1974) 342-369; O. E. Rössler, *Deductive biology - some cautious steps*, *Bull. Math. Biol.* 40 (1978) 45-58; O. E. Rössler, *Artificial cognition-plus-motivation and hippocampus*, in: *Neurobiology of the Hippocampus*, W. Seifert, ed. (Academic Press, New York, 1983) 573-588.
- 5 K. Lorenz, *Die Rückseite des Spiegels* (Piper-Verlag, München 1973).
- 6 H. L. F. von Helmholtz, *Handbuch zur physiologischen Optik* (Voss, Hamburg, 1868);
H. Helmholtz, *Die Tatsachen in der Wahrnehmung - Rede zur Gedächtnisfeier der Stiftung der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin gehalten am 3. August 1878*, in: *H. Helmholtz, Reden und Aufsätze Bd. 2* (Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1884).
- 7 H. A. C. Dobbs, *The dimensions of the sensible present*, in: *The Study of Time*, J.F. Fraser und F. C. Haber, (Hg.) (Springer, Berlin, 1972) 274-292;
R. Salamander, *Zeitliche Mehrdimensionalität als Grundbedingung des Sinnverstehens* (Peter Lang, Berlin, 1982);
G. Franck, *Virtual time - Can subjective time be programmed?*, in: *Ars electronica*, 1990, Vol. 2, *Virtuelle Welten - Virtual Worlds*, G. Rattinger, M. Russel, C. Schöpf und P. Weibel, (Hg.) (Veritas, Linz, 1990) 57-81;
G. Franck, *Physical time and intrinsic temporality*, in: *Inside versus Outside-Endo- and Exo-Concepts of Observation and Knowledge in Physics, Philosophy and Cognitive Science*, H. Atmanspacher und G.J. Dalenoort, (Hg.) (Springer, Berlin, 1994) 63-83.
- 8 O. E. Rössler, *An artificial cognitive map system*. *Biosystems* 13 (1981) 203-209.
- 9 H. von Foerster, *On constructing reality*, in: *Environmental Design Research*, Vol. 2, F.E. Presler, (Hg.) (Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudberg, 1973) 35-46.
- 10 I. Kant, *Kritik der Reinen Vernunft - Vorwort zur zweiten Auflage der Ausgabe von 1787*, in: *I. Kant, Gesammelte Werke Bd. 3* (Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1983), 25.
- 11 H. R. Maturana und F. J. Varela, *De maquinas y seres vivos* (Editorial Universitaria, Santiago, 1972);
H. R. Maturana und F. J. Varela, *Der Baum der Erkenntnis* (Scherz-Verlag, Bern, 1987) (*El árbol del conocimiento* (Santiago, 1984)).
- 12 R. J. Boscovich, *Über Raum und Zeit, wie sie von uns erkannt werden*, in: O.E. Rössler, *Endophysik - Die Welt des inneren Beobachters* (Merve-Verlag, Berlin, 1992) (*De spatio et tempore, ut a nobis cognoscuntur 1755*, in: R. J. Boscovich, *Theoria Philosophiae Naturalis*, Wien, 1758).
- 13 O. E. Rössler, *Boscovich covariance*, in: *Beyond Belief: Randomness, Prediction and Explanation in Science*, J. L. Casti and A. Karlqvist, (Hg.) (CRC Press, Boca Raton, 1991) 69-87.

- 14 J. von Uexküll, *Theoretische Biologie* (Julius Springer, Berlin, 1920), Neudruck der zweiten Auflage 1928 (Suhrkamp, Frankfurt/Main, 1973)
- 15 H. von Foerster, *Observing-Systems* (Intersystems Publications, Seaside, CA, 1981).
- 16 D. Bohm, *Wholeness and The Implicate Order* (Routledge and Kegan Paul, London, 1980).
- 17 D. Finkelstein, *Holistic methods in quantum logic*, in: *Quantum Theory and the Structures of Time and Space*, Vol. 3, L. Castell, M. Drieschner und C. F. von Weizsäcker, (Hg.) (Carl Hanser, München, 1979) 37-60.
- 17a D. D. Hoffman, *The interpretation of visual illusions*, *Sci. Am.* 249, 6 (1983) 154-162;
cf. den auf diesem Ansatz beruhenden Versuch, eine stochastische »Beobachtertheorie« zu formulieren, die alle Bereiche der Physik einschließt: B. M. Bennett, D. D. Hoffman und C. Prakash, *Observer Mechanics-A Formal Theory of Perception* (Academic Press, San Diego, 1989).
- 18 D. Bohm, *A suggested interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables I, II*, *Phys. Rev.* 85 (1952) 166-179, 180-193.
- 19 K. R. Popper, *Indeterminism in classical physics and quantum physics I*, *Brit. J. Phil. Sci.* 1 (1951) 117-133; K. R. Popper, *Autobiography*, in: *The Philosophy of Karl Popper*, P. A. Schilpp, (Hg.), Vol. 1 (Open Court, LaSalle, 1974), 3-181, 102.
- 20 J. S. Bell, *On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox*, *Physics* 1 (1964) 195-200.
- 21 O. E. RöSSLER, *Explicit observers*, in: *Optimal Structures in Heterogeneous Reaction Systems*, P.J. Plath, (Hg.) (Springer, Berlin, 1989) 124-138.
- 22 J. A. Wheeler und R. P. Feynman, *Interaction with the absorber as the mechanism of radiation*, *Rev. Mod. Phys.* 17 (1945) 157-162.
- 23 Ya. G. Sinai, *Dynamical systems with elastic reflections*, *Russian Math. Surveys* 25 (1970) 137-190.
- 24 O. E. RöSSLER und M. Hoffmann, *Quasiperiodization in classical hyperchaos*, *J. Comp. Chem.* 8 (1987) 510-515.
- 25 J.W. Gibbs, *Elementary Principles in Statistical Mechanics* (Yale University Press, New Haven, 1902) 15.
- 26 T. H. R. Skyrme, *Nucl. Phys.* 31 (1962) 556; D. Finkelstein, *J. Math. Phys.* 7 (1966) 1218.
- 27 O. E. RöSSLER, *An estimate of Planck's constant*, in: *Dynamical Phenomena in Neurochemistry-Theoretical Aspects*, P. Érdi, (Hg.) (Publications of the Institute of Theoretical Physics of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1985) 16-18.
- 28 O. E. RöSSLER, *Indistinguishability implies quantization* in: *Collected Papers Dedicated to Professor Kazuhisa Tomita on the Occasion of His Retirement from Kyoto University*, S. Takeno, T. Kawasaki and H. Tomita, (Hg.) (Publication Office of Progr. Theoret. Phys., Kyoto, 1987), 280-288.
- 29 O. E. RöSSLER, *Symmetry-induced disappearance of reality- the Leibniz effect*, *Leonardo* 22 (1989) 55-59.
- 29a O. E. RöSSLER, *A possible explanation of quantum mechanics*, in: *Advances in Information Systems Research*, G. E. Lasker, T. Koizumi und J. Pohl, (Hg.) (International Institut for Advanced Studies in Systems Science and Cybernetics, University of Windsor, 1991) 581-589.
- 30 O. E. RöSSLER, *Into the same rivers we step and step not, we are the same and we are not - On the origin of the now*, (Deutsche Übersetzung in: O. E. RöSSLER, *Endophysik - Die Welt des inneren Beobachters* (Merve-Verlag, Berlin, 1992) 611-637.
- 31 J. S. Bell, *Quantum mechanism for cosmologists*, in: *Quantum Gravity 2*, C. Isham, R. Penrose und D. Sciama, (Hg.) (Clarendon Press, Oxford, 1981) 611-637.
- 32 H. Everett, III, *Relative-state formulation of quantum mechanics*, *Rev. Mod. Phys.* 29 (1957) 454-462.
- 33 O. E. RöSSLER, *Endophysics*, in: *Real Brains, Artificial Minds*, J. L. Casti und A. Karlqvist, (Hg.) (North-Holland, New York, 1987) 25-46.
- 34 O. E. RöSSLER, *A chaotic 1-D gas-some implications*, *Lecture Notes in Physics* 278 (1987) 9-11.

- 34a O. E. RöSSLER, *A new principle For identity generation-Three equal particles on a ring, a caeleidoscope of classical exchange symmetry*, in: *Representatives A. Fraser, C.P. Müller und G. Rockenschaub, P. Weibel* (Hg.) (Verlag der Buchhandlung Walther König, Köln, 1993) 257-272.
- 35 G. Ricker, *Relationspathologie- Pathologie als Naturwissenschaft* (Springer, Berlin, 1924).
- 36 O. E. RöSSLER und J. O. RöSSLER, *The endo approach*, *Applied Math. Comput.* 56 (1993) 281-287.
- 37 D. F. Galouye, *Simulacron Three* (1964) (Deutsche Übersetzung: *Welt am Draht* (Heyne-Verlag, München, 1965)
- 38 O. E. RöSSLER, *Einstein completion of quantum mechanics made falsible*, in: *Entropy, Complexity and the Physics of Information*, W. H. Zurek, (Hg.) (Addison-Wesley, Redwood City, 1990) 367-373.
- 39 A. Einstein, B. Podolsky und N. Rosen, *Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete?*, *Phys. Rev.* 47 (1935) 777-780.
- 40 O. E. RöSSLER, *Bell's Symmetry*, 1990, *Symmetry: Culture & Science*
- 41 O. E. RöSSLER, R. RöSSLER und P. Weibel, *Die Welt als Schnittstelle*, in: *Vom Chaos zur Endophysik - Wissenschaftler im Gespräch*, F. Rötzer, (Hg.) (Boer, München, 1994) 369-381.
- 42 G. B. Hess und W. M. Fairbank, *Rotation of superfluid helium*, *Phys. Rev. Lett.* 19 (1967) 216-219.
- 43 R. E. Packard und S. Vitale, *Principles of superfluid helium*, Berkeley, 1992
- 44 O. E. RöSSLER und R. RöSSLER, *Is the mind-body interface microscopic?*, *Theoretical Medicine* 14 (1993) 153-163.
- 45 G. T. Fechner, *Elemente der Psychophysik* (Breitkopf und Hästel, Leipzig, 1860).
- 46 O. E. RöSSLER, *Ist unsere Welt eine virtuelle Realität?*, in: *Cyberspace*, F. Rötzer und P. Weibel, (Hg.) (Klaus Boer Verlag, München, 1993) 256-266;
O. E. RöSSLER, *Endophysics-Descartes taken seriously*, in: *Inside versus Outside-Endo- and Exo-Concepts of Observation and Knowledge in Physics, Philosophy and Cognitive Science*, H. Atmanspacher und G. J. Dallenort, (Hg.) (Springer, Berlin, 1994) 153-169.
- 47 I. Tsuda, *Chaotic itinerancy as a dynamical basis of hermeneutics in brain and mind*, *World Futures* 32 (1991) 167-184.
- 48 I. Kant, *Opus postumum, Convolutes X und XI*, in: E. Adickes, *Kants Opus postumum* (Berlin, 1920), Zitate aus: *Kant, Ausgewählte Schriften, Die Grundlagen des kritischen Denkens*, W. del Negro, (Hg.), (Bertelsmann, Gütersloh, 1953) 399.
- 49 J. von Neumann, *The Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (Princeton Univ. Press, Princeton, New York, 1955) 428 (EA 1932).
- 50 O. E. RöSSLER und P. Weibel, *Our rainbow world*, in: *The World from Within-Endo and Nano*, K. Berber und P. Weibel, (Hg.) (PVS Verleger, Linz, 1992) 13-21.

Übersetzung aus dem Englischen von Nils Röller. Das Original erschien zuerst in: *Physica D* 75 (1994) 438 - 448; Institut für Theoretische Chemie, Universität Tübingen, 72076 Tübingen