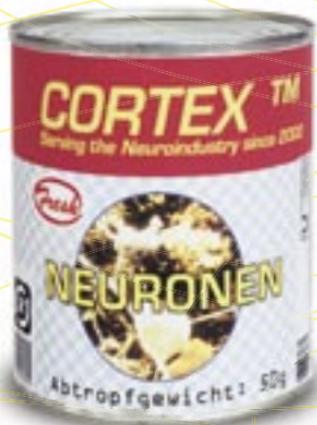


Zu einer neuen Quantenphysik des Bewusstseins – Gespräche an den Grenzen der Erkenntnis



**Roy Ascott
Reinhold Bertlmann
Ulrike Gabriel
Ernst von Glasersfeld
Stuart Hameroff
Luis Eduardo Luna
Josef Mitterer
Roger Penrose
Otto E. Rössler
Anton Zeilinger
Peter Weibel**

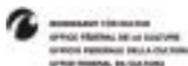
René Stettler (Hrsg.)



9	Vorwort René Stettler
21	1. Gespräch Reinhold Bertlmann, Ulrike Gabriel, Ernst von Glasersfeld, Stuart Hameroff, Josef Mitterer, Roger Penrose, Otto E. Rössler, Anton Zeilinger, Publikum Moderation: Peter Weibel
83	2. Gespräch Anton Zeilinger und Reinhold Bertlmann
93	3. Gespräch Roy Ascott, Stuart Hameroff, Luis Eduardo Luna, Josef Mitterer, Roger Penrose, Otto E. Rössler, Publikum Moderation: Peter Weibel
133	Glossar
161	Biographien Autoren

© 2009. Herausgeber und Edition Neue Galerie Luzern, <http://www.neugalu.ch>, und Schweizer Biennale zu Wissenschaft, Technik und Ästhetik, Postfach 3901, CH-6002 Luzern, Schweiz. Gespräche: Autoren. Edition 07. Satz und Gestaltung: Livia Gnos, Genf. Übersetzung aus dem Englischen: René Stettler. Bildmaterial: Neue Galerie Luzern und Autoren. ISBN 978-3-033-01878-5

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek:
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.



1. Gespräch

Reinhold Bertlmann, Ulrike Gabriel, Ernst von Glasersfeld, Stuart Hameroff, Josef Mitterer, Roger Penrose, Otto E. Rössler, Anton Zeilinger, Publikum
Moderation: Peter Weibel

Peter Weibel: Stuart Hameroff und Roger Penrose, das von Ihnen vorgeschlagene Orch-OR-Bewusstseinsmodell hat eine Kontroverse innerhalb des heute etablierten neurowissenschaftlichen Diskurses ausgelöst. Das Modell stellt eine quantenphysikalische Sichtweise des Gehirns zur Verfügung. Es lehnt sich auf eine bestimmte Weise noch an die Erkenntnisse von Warren McCulloch und Walter Pitts über die Zusammenhänge zwischen Logik, Kalkül und Nervennetzen an, hebt sich aber von den sonst üblichen neuro- und kognitionswissenschaftlichen Modellbildungen des Gehirns ab. Sie schlagen vor, dass sich in den Mikrotubuli entscheidende bewusstseinsbildende Quantenprozesse ereignen. Mit dieser Hypothese unterlaufen Sie die heute von vielen Wissenschaftlern akzeptierten Bezüge zwischen der Logik und der klassischen funktionellen Organisation des Zentralnervensystems und wagen sich unter die polierte Oberfläche des neurowissenschaftlichen Diskurses, wie Heinz von Foerster sich ausgedrückt hätte. Stellen Sie mit Ihrem quantenphysikalischen Ansatz denn die neuronalen Bewusstseinsmodelle grundsätzlich in Frage?

1. Gespräch

Roger Penrose: Nein. Wir lehnen das Gros der neurowissenschaftlichen Befunde nicht ab. Es gibt allerdings auch keinen Grund zur Annahme, dass bei den Aktionen im Unterbewusstsein die von uns vorgeschlagenen Prozesse involviert sind. Nun ist es gemäss unserer Sichtweise aber so, dass die im Bewusstsein ablaufenden Wahrnehmungen und Phänomene von der Quantenzustandsreduktion der Bewegung der Proteine profitieren. Deshalb lehnen wir die Neurowissenschaft nicht als Ganzes ab, sondern nur jenen Teil der Theorie, der sich mit Bewusstsein auseinandersetzt. Wir finden innerhalb der konventionellen Neurowissenschaften keine Erklärung dafür, warum gewisse neuronale Abläufe im Gehirn Bewusstsein produzieren und andere nicht. Wir gehen beispielsweise davon aus – es mag kontrovers sein –, dass das Cerebellum fast völlig ohne Bewusstsein ist. So stellt sich uns die entscheidende Frage, was die Prozesse im Cerebellum von jenen der bewussten Abläufe in anderen Teilen des Gehirns unterscheidet. Die konventionelle Neurowissenschaft macht keinen Unterschied zwischen bestimmten Arten von Abläufen im Gehirn, die Bewusstsein ermöglichen oder anderen, die kein Bewusstsein hervorrufen. Unser Einspruch bezieht sich nicht auf jene Sachverhalte, bei denen offenbar keine bewussten Prozesse im Spiel sind. Für die befriedigende Erklärung von Wahrnehmungen, die Bewusstsein involvieren, benötigt man etwas Zusätzliches zur herkömmlichen Neurowissenschaft. Das ist

1. Gespräch

unser Punkt. Es muss sich dabei um etwas physikalisch Ausgeklügelteres als die herkömmlichen Erklärungen zur Synapsenstärke handeln. Diese Prozesse laufen organisierter ab als zum Beispiel der Hebb-Mechanismus, bei dem bestimmte Kombinationen von Signalen, die eine Stärkung oder Schwächung der Synapsenstärke verursachen, mit grösserer oder kleinerer Wahrscheinlichkeit auftreten. Wir sind davon überzeugt, dass solche Erklärungen nicht annähernd adäquat sind.

Peter Weibel: In Ihrem Modell ereignen sich die entscheidenden bewusstseinsbildenden Prozesse nicht in den Synapsenverbindungen, sondern in den sogenannten Mikrotubuli. Sie beschreiben die Prozesse im Gehirn anhand von Quantenzuständen und nicht, wie das bislang getan wurde, mit der Hilfe von mathematischen Modellen der neuronalen Netzwerke. Was war eigentlich der ausschlaggebende Grund für den Schritt zu Ihrem quantentheoretischen Gehirnmodell? Genügten die mathematischen Ansätze bei der Modellierung neuronaler Netzwerke nicht mehr, um die kognitiven und bewusstseinsbildenden Prozesse zufriedenstellend zu beschreiben?

Roger Penrose: Es ist denkbar, dass bestimmte Abläufe im Gehirn anhand der Systeme der neuronalen Netzwerke recht gut erklärbar sind. Ich bin

1. Gespräch

diesbezüglich kein Experte und habe deshalb auch keinen Grund, das Gegenteil anzunehmen. Allerdings sehe ich hier keine Erklärung dafür, wie Bewusstsein entsteht. Bewusstsein ist etwas vollkommen Differentes. Für mich ist klar, dass die bewussten Abläufe im Gehirn nicht mit Computern simuliert werden können. Es zwingt uns nach Antworten jenseits der konventionellen Erklärungen der klassischen Physik zu suchen. Wir müssen über die Annahmen zur Funktionsweise der Quantenmechanik hinausgehen. Mit der Schrödingergleichung lässt sich die Evolution eines physikalischen Systems zwar berechnen – ähnlich wie mit den Gleichungen der klassischen Physik –, doch die Quantenmechanik ist ohne den Prozess der Quantenzustandsreduktion oder den Kollaps der Wellenfunktion unvollständig. Man kann diesen Prozess probabilistisch denken und auf dem Computer genau simulieren. Wie er sich in Wirklichkeit jedoch abspielt, entzieht sich einem genaueren Verständnis, obschon er ein wesentlicher Bestandteil des allgemeinen Verständnisses der Quantenmechanik ist. Ich bin überzeugt, dass wir einen neuen Ansatz benötigen, den ich als Objektive Reduktion beziehungsweise OR bezeichnet habe. Dabei ist auch eine Theorie unerlässlich, die uns ausserhalb des Bereiches bringt, in dem heute mit Computersimulationen verbindliche Aussagen gemacht werden.

1. Gespräch

Stuart Hameroff: Ich möchte anfügen, dass es Modelle für die Informationsverarbeitung in den Mikrotubuli gibt. Wenn man sich einen Mikrotubulus genauer anschaut, so handelt es sich um eine Art Gitter, das in einen Zylinder gestopft ist. Wenn man sich nun vorstellt, dass jede der Untereinheiten, aus denen ein Mikrotubulus besteht, in Abhängigkeit vom Zustand der Nachbareinheit zwischen zwei Zuständen hin und her schaltet, dann hat man einen ganz patenten Automaten, der sich zu einem neuronalen Netzwerk verallgemeinern lässt. Im Grunde können Mikrotubuli also als Computer funktionieren. Zwei oder mehrere miteinander durch Proteine verbundene Mikrotubuli formen lernende Netzwerke, indem das nach innen angelegte Gerüst der Nerven und anderer Zellen die Funktion eines Rechners hat. Vergleichsweise denke man dabei an einen herum schwimmenden Einzeller, der Nahrung sucht, Hindernissen und Räubern ausweicht, sich paart und sexuell aktiv ist. Er ist sehr aktiv, und obschon er über keine Synapsen verfügt, repräsentiert er eine einzelne Zelle, die ihre Mikrotubuli als Nervensystem verwendet. Wir behaupten lediglich, dass innerhalb der Neuronen des Gehirns die Mikrotubuli mindestens die gleichen Fähigkeiten besitzen wie die Mikrotubuli eines Einzellers. Daraus lässt sich noch nicht schliessen, dass dieser Einzeller ein Bewusstsein hat, weil vermutlich die Bedingungen für Quantenprozesse zur Erreichung von Objektiver Reduktion nicht ausreichend sind. Die Netzwerke

1. Gespräch

auf dem neuronalen Level wie auch die konventionellen Hirnfunktionen sind aber nicht nur wichtig, sondern auch notwendig. Wie Roger Penrose erwähnt hat, laufen die meisten Aktivitäten im Gehirn unbewusst ab. Zur Erreichung von Bewusstsein sind unseres Erachtens jedoch die Quantenprozesse in den Mikrotubuli eine wesentliche Voraussetzung, doch repräsentieren sie nur die Spitze eines Eisbergs. Es ist durchaus denkbar, dass nur ein sehr kleiner Teil dessen, was im Gehirn passiert, Bewusstsein ermöglicht. Zum Beispiel haben Patienten, die unter allgemeiner Anästhesie sind, kein Bewusstsein. Bei ihnen tritt EEG-Aktivität auf und aufgrund hervorgehobener Potenziale, wie zum Beispiel Reflexe, kann man auf eine grosse Aktivität im Gehirn schliessen.

Peter Weibel: Wie wohl fühlen Sie sich eigentlich bei der Einreihung in die philosophische Tradition des Psychophysischen Parallelismus des 19. Jahrhunderts? Oder die des Reduktionismus?

Stuart Hameroff: Man wirft uns ja immer wieder vor, wir seien Reduktionisten, weil wir die Entstehung von Bewusstsein in den Zellen und auf dem Niveau der Planck-Einheiten vorgeschlagen haben. Dazu kann ich nur bemerken: *reductio ad absurdum*. Denn vom Niveau der Quanten aus gewinnt man eine holistische und viel umfassendere Sichtweise.

1. Gespräch

Mit der Tradition des Psychophysischen Parallelismus bin ich zu wenig vertraut. Ich würde sagen, dass wir einer monistischen Anschauung sehr nahe stehen oder einer Art von Pan-Proto-Psychismus, das heisst Whiteheads Pan-Erfahrungskonzept. Whitehead erklärt das Bewusstsein ja als einen Ablauf von diskreten Ereignissen, die sich in einem erweiterten Feld der proto-bewussten Erfahrung ereignen. Der Physiker Abner Shimony geht davon aus, dass diese diskreten Ereignisse auch Quantenereignisse sein könnten. Er sieht im proto-bewussten Feld den fundamentalen Level der Realität der Geometrie der Raumzeit auf dem Niveau der Planck-Einheiten.

Peter Weibel: Anton Zeilinger hat mit seiner Informationstheorie einen Denkansatz vorgeschlagen, der einer weiteren Reduzierbarkeit klare Grenzen setzt. Ist seine Annahme, dass es eine nicht weiter reduzierbare Quanteninformation gibt, auch für das Orch-OR-Bewusstseinsmodell von einer gewissen Gültigkeit?

Roger Penrose: Der Begriff Quanteninformation ist problematisch, weil damit nicht Information gemeint ist, welche man zur Versendung eines gewöhnlichen Signals benötigt. Das wird einem klar, wenn man akzeptiert, dass sich das, was als Quanteninformation bezeichnet wird, schneller als mit

1. Gespräch

Lichtgeschwindigkeit bewegt und rückwärts in der Zeit geht. Gewöhnliche Information kann dies nicht. Die Quanteninformation moderiert und beeinflusst auf eine bestimmte Weise die normale Information. Es handelt sich bei ihr um eine komplexe Zahl. Anton Zeilinger sieht dies vermutlich anders. Für mich ist Quanteninformation nicht etwas, worauf das Prinzip dessen, was wir unter normaler Wahrscheinlichkeit verstehen, anwendbar ist, und es handelt sich wie gesagt nicht um Information im herkömmlichen Sinn. Man benützt sie zur Erklärung der EPR-Phänomene, wo räumlich voneinander getrennte Ereignisse auf eine bestimmte Weise in Beziehung zueinander stehen. Man beschreibt diesen Sachverhalt mit dem Wort Verschränkung. Bei Anton Zeilingers beeindruckenden Teleportationsexperimenten muss man verstehen, dass Alice an Bob einen vollständigen Quantenzustand übermittelt, obschon Alice an Bob in Wirklichkeit nur zwei Informationsbits verschickt. Ein Quantenzustand benötigt jedoch eine unendliche Anzahl von Informationsbits für seine Beschreibung. Mir ist dieser Sachverhalt nur aus dem Grund plausibel, wenn man zwischen Alice und Bob eine beide verbindende «Verkettung» voraussetzt – ich berufe mich auf Aussagen von anderen Leuten des Fachs. Diese «Verkettung» besteht aus einer Verlinkung von teilweise in der Zeit rückwärts gehender Quanteninformation. Nur wenn man diese seltsam amutende Sichtweise akzeptiert, ergibt sich ein Sinn, da es sich bei der Quanteninformation um

1. Gespräch

etwas handelt, für das wir unser Verständnis dessen, was wir unter Information traditionellerweise verstehen, nicht heranziehen können. Wenn man der Quanteninformation theoretisch erlaubt, rückwärts in der Zeit zu gehen, hat man eine elegante Erklärung für das Problem.

Anton Zeilinger: Für mich existiert so etwas wie die Quanteninformation nicht. Es existiert lediglich Information über Fakten, über Beobachtungen. Die grundlegende Voraussetzung dabei ist, dass jemand da ist, der diese Information wahrnimmt. Information, die von dieser Voraussetzung losgelöst ist, macht keinen Sinn. Ich musste mich wegen des Titels eines meiner Bücher, «Die Physik der Quanteninformation», übrigens schon rechtfertigen, weil man mir vorgeworfen hat, einen Begriff zu verwenden, den ich persönlich selber in Frage stelle. Nein, die Quanteninformation gibt es so nicht. Es existiert nur die klassische alltägliche Information, die sich im Sinne der Quantentheorie enkodieren lässt. In dem Fall bin ich mit dem, was Roger Penrose vorhin ausgeführt hat, einverstanden. Jedoch sollte man von Beschreibungen wie «schneller als mit Lichtgeschwindigkeit» oder «rückwärts in der Zeit» einfach absehen. Es sind Bilder, die ich nicht teile – man sollte in diesen Zusammenhängen den Begriff Information schlicht vermeiden.

1. Gespräch

Roger Penrose: Ich kann mich dem Vorschlag anschliessen, den Begriff Quanteninformation nicht zu verwenden. Mein Vorschlag wäre dann, von Quanglement zu sprechen.

Anton Zeilinger: Ja, das Wort Quanglement gefällt mir.

Ernst von Glasersfeld: Diese Diskussion über Information fasziniert mich. Information ist ein Ausdruck, der von einer Menge Linguisten fleissig benutzt wird. Und eine Menge dieser Linguisten haben nicht die geringste Absicht, zu erklären, was sie mit «Information» meinen. Als Herr Zeilinger den Ausdruck vorhin verwendet hat, dachte ich, ich verstehe ihn recht gut, weil er von Shannons Informationstheorie – eigentlich Kommunikationstheorie – sprach. Shannon – wenn ich ihn richtig verstanden habe – meint mit Information eine Unterweisung, die vom Sender zum Empfänger geschickt wird, eine Unterweisung, etwas auszuwählen, was der Empfänger bereits hat. Information ist in Shannons Theorie – und das können mir eine Reihe von Leuten bestätigen, die sich da auskennen und darüber geschrieben haben – eine Unterweisung, was ausgewählt werden soll. Es ist nicht, was Information normalerweise bedeutet. Zum Beispiel, wenn ich zum Informationskiosk am Flughafen gehe oder dergleichen. Shannons Information bringt dem Empfänger nichts Neues, sondern sagt ihm nur,

1. Gespräch

worauf es im gegenwärtigen Fall ankommt, was er benützen soll. Darum verstehe ich nicht, was Roger Penrose mit Information meint, wenn er sagt, dass sie in der Zeit rückwärts geht.

Roger Penrose: Ich bin damit einverstanden, wenn wir vom Begriff Information absehen, obschon Quanteninformation ein geläufiger Terminus ist. Es handelt sich hier tatsächlich um einen aussergewöhnlichen Sachverhalt, bei dem sich etwas in der Zeit zurück bewegt.

Ernst von Glasersfeld: Ist dieses Ding etwas, das für den Empfänger schon existiert, oder gibt es da überhaupt einen Empfänger?

Roger Penrose: Begriffe wie Sender und Empfänger greifen zu kurz, weil keine Botschaft verschickt wird. Es handelt sich nicht um Information im herkömmlich definierten Sinn und sie eignet sich auch nicht zum Versenden von Botschaften. Falls sich das mit ihr machen liesse, würde es mit dem Einsteinschen Prinzip, dass Information nicht schneller als mit Lichtgeschwindigkeit verschickt werden kann, in einen direkten Konflikt treten.

Ernst von Glasersfeld: Ist es etwas, das jemand benützen kann?

A **Aharonov-Bohm-Effekt** Der Aharonov-Bohm-Effekt ist ein quantenmechanisches Phänomen, bei dem ein Teilchen durch elektromagnetische Felder, von denen es abgeschirmt ist, dennoch beeinflusst wird. Quantenmechanisch erhält das abgeschirmte Teilchen durch das sogenannte Eichpotenzial eine Phase, die zu experimentellen Interferenzeffekten führt – dem Aharonov-Bohm-Effekt. → *Bohm, David Joseph*

Allgemeine Relativität → *Relativitätstheorie*

Anaconda Canoe «Kanu-Anakonda» ist der Name für einen Mythos der Tukano-Indianer, der die Geschichte einer heiligen Riesenschlange erzählt. Die Schlange lebt im amazonischen Fluss Uaupés und gebiert aus ihrem Körper die Ureinwohner der Uaupés-Flussregion.

Ayahuasca Ayahuasca ist ein bitter schmeckendes Getränk, das die Eingeborenen des Amazonasbeckens verwenden, um mit der Welt der Geister zu kommunizieren. Zur Herstellung des halluzinogenen Präparats benötigt man eine Urwald-Liane.

B **Bell, John Steward** (1928–1990) Führender Physiker und Mathematiker des 20. Jahrhunderts, der maßgeblich zur Klärung des Einstein-Podolsky-Rosen-Gedankenexperiments (EPR-Experiment) beitrug. → *EPR-Paradoxon* / → *Bellsches Theorem* / → *Bellsche Ungleichung*

Bellsches Theorem Keine lokal realistische Theorie (mit verborgenen Parametern) kann alle möglichen

Resultate der Quantenmechanik reproduzieren. Erreicht wird dies durch die Bellsche Ungleichung. → *Bellsche Ungleichung*

Bellsche Ungleichung Die von John Bell entwickelte Bellsche Ungleichung zeigt einen Weg zur Beantwortung der durch das EPR-Paradoxon aufgeworfenen Fragen nach der Gültigkeit der Theorie der Quantenmechanik als Ganzes und im speziellen nach der Rolle der Lokalität bei quantenmechanischen Phänomenen. Bells Ungleichung beschreibt die Ergebnisse von Messungen, deren erkenntnistheoretische Konsequenzen dazu führen, dass die Annahme von Lokalität und Realismus hinterfragt werden muss. Bells Ungleichung ist immer erfüllt von Erwartungswerten einer (beliebigen) lokal realistischen Theorie, wird aber von den Voraussagen der Quantenmechanik verletzt. → *Quantenmechanik*

Bernoullische Gleichung Nach dem Basler Mathematiker, Physiker und Mediziner Daniel Bernoulli (1700–1782) benannte grundlegende Gleichung der Strömungslehre.

Bertlmanns Socken Die nach einem Artikel von John Bell mit dem Titel «Bertlmann's Socks and the Nature of Reality» benannten verschieden farbigen Socken des österreichischen Physikers Reinhold Bertlmann. Sie illustrieren das Einstein-Podolsky-Rosen-Gedankenexperiment. → *EPR-Paradoxon*

Big Bang «Urknall», Bezeichnung für den Beginn der Entstehung des Universums. Der Begriff wurde von Sir Fred Hoyle geprägt, der als Kritiker der Theorie versuchte, mit dem Begriff «Big Bang» diese unglaubwürdig erscheinen zu lassen.

Bohm, David Joseph (1917–1992) Amerikanischer Quantenphysiker, der eine Reihe signifikanter Beiträge zur Physik geliefert hat, insbesondere im Bereich der Quantenmechanik und der Relativitätstheorie. Bohm ist Begründer der Bohmschen Mechanik, einer alternativen Beschreibung der Quantenmechanik. Mit seinem Studenten Yakir Aharonov entdeckte er den sogenannten Aharonov-Bohm-Effekt. → *Aharonov-Bohm-Effekt*

Bohr, Niels Henrik David (1885–1962) Dänischer Physiker, der für seine Verdienste um die Erforschung der Struktur der Atome und der von ihnen ausgehenden Strahlung den Nobelpreis für Physik erhielt. Seine wichtigsten Beiträge zur Physik waren das Bohrsche Atommodell, das erste quantentheoretische Atommodell, das zusammen mit dem Bohr-Sommerfeldschen Atommodell einen wichtigen Schritt in der Entwicklung der Quantenmechanik darstellte. Von Niels Bohr stammt auch das Komplementaritätsprinzip, das besagt, dass die Kenntnis bestimmter Messgrößen notwendigerweise eine totale Unkenntnis bestimmter anderer Größen bedingt. → *Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik*

Bohrscher Radius Als Längeneinheit benutzte Einheit für die atomaren Einheiten in der Atomphysik.

Cerebellum Das in der hinteren Schädelgrube unterhalb der Hinterhauptlappen des Grosshirns gelegene Kleinhirn.

C **Chaostheorie** Unter Chaostheorie versteht man die umgangssprachliche Bezeichnung für die Theorie nicht-linearer «chaotischer» Systeme, einem Teilgebiet der nichtlinearen Dynamik innerhalb der Mathematik und der Physik. Chaotisches Verhalten zeichnet sich dadurch aus, dass geringe Änderungen in den Anfangsbedingungen

Glossar

später zu nahezu beliebig grossen Änderungen führen können. Beispiele für Systeme, die gelegentlich chaotisches Verhalten zeigen, sind unter anderem Wetter und Klima, Plattentektonik, Wirtschaftskreisläufe, Internet und Bevölkerungswachstum.

Churchland, Patricia (* 1943) Amerikanische Wissenschaftsphilosophin mit Forschungsschwerpunkten in den Neurowissenschaften und der Philosophie des Geistes.

Cortex Rinde des Grosshirns, die sich bei vielen Säugetieren durch zahlreiche Windungen und Furchen auszeichnet. Bei der Furchung des Cortex unterscheidet man zwischen einer Primärfurchung, die bei allen Individuen annähernd gleich ist, und einer Sekundär- und Tertiärfurchung, die so individuell wie ein Fingerabdruck sein kann. Der Cortex besteht aus sechs Zellschichten, die gemäss Schätzungen etwa 28 Milliarden Neurone enthalten. → *Neuron*

D De Broglie, Louis (1892–1987) Französischer Physiker und Nobelpreisträger, der die Quantentheorie mit seinen Beiträgen zur Untersuchung der elektromagnetischen Strahlung weiterentwickelte. De Broglie versuchte den Dualismus von Materie und Energie zu überwinden, indem er beide aus Teilchen bestehend ansah, die sich in Form von Wellen fortbewegen. Für die Entdeckung der Wellennatur von Elektronen wurde ihm der Nobelpreis für Physik verliehen.

De-Broglie-Wellenlänge Nach De Broglie benannte Wellenlänge für bewegliche Teilchen. Er beschrieb das Phänomen in seiner Dissertation, in der er die Vermutung äusserte, dass der Welle-Teilchen-Dualismus, der zu

Glossar

dieser Zeit nur für Photonen bekannt war, auf jegliche feste Materie angewendet werden kann. So liess sich auch typischen Teilchen – zum Beispiel Elektronen – Welleneigenschaften zuordnen.

Dekohärenz Die Dekohärenz ist eine irreversible und nicht kontrollierbare Dislokalisierung von quantenmechanischen Superpositionen aufgrund ihrer Verschränkung mit der Umgebung. Die Vermeidung der Dekohärenz stellt beim Bau von Quantencomputern eine grosse technische Herausforderung dar. → *Quanten-Superposition*

Dendrit Baumartiger, verzweigter Fortsatz einer Nervenzelle. → *Neuron*

Dimethyltryptamin (DMT) DMT ist ein Molekül, das mit den Botenstoffen des Gehirns Melatonin und Serotonin strukturverwandt ist. Es kommt im menschlichen und tierischen Körper und in Pflanzen vor. In hohen Dosen geraucht oder injiziert ist es eines der stärksten bekannten Entheogene bzw. Halluzinogene.

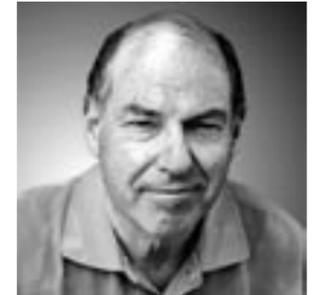
E EEG Die Elektroenzephalographie ist eine diagnostische Methode zur Registrierung von Potenzialschwankungen des Gehirns bzw. der Hirnströme. Durch Mittelungsverfahren können aus dem EEG evozierte Potenziale, langsame Hirnpotenziale, Erwartungswelle und Bereitschaftspotenzial herausgemittelt werden. Für die klinische Neurologie ist das EEG besonders für die Epilepsie und die Schlafdiagnostik wichtig.

EPR-Gedankenexperiment → *EPR-Paradoxon*

Biographien

Roy Ascott, geb. 1934.

Seit den sechziger Jahren befasst sich Ascott als Künstler und Theoretiker mit der Kunst im digitalen Zeitalter, technologischen Innovationen und der Erforschung von Bewusstsein. Als einer der Pioniere der Kybernetik, der Interaktivität und der Telematik wurden seine Projekte an der Biennale von Venedig, der Electra in Paris, der Ars Electronica Linz, am V2 in Rotterdam und an der Mailänder Triennale gezeigt, sowie an der Biennale von Mercosul, Brasilien und der gr2000az in Graz. Ascott ist Gründer und Direktor des Planetary Collegiums der Universität Plymouth. Das Planetary Collegium ist ein transdisziplinäres Bildungs- und Forschungskolloquium an der Schnittstelle von Kunst, Technik und Wissenschaft. Es theoretisiert neue Formen kreativen Arbeitens und Lernens in unterschiedlichen kulturellen Praxen. Ph.D.-Forschende und Post-Doc-Studierende verschiedener Disziplinen theoretisieren ihre Arbeit in Kunst und Wissenschaft mit dem Ziel, die Grenzen herkömmlicher Disziplinen zu erweitern. Publikationen (Auswahl): «Art & Telematics: Toward the Construction of New Aesthetics», auf japanisch übersetzt von E. Fujihara, Tokyo 1998; «Art, Technology, Consciousness – mind@large», Roy Ascott (Hrsg.), Intellect, Bristol und Portland, 2000; «Engineering Nature: Art & Consciousness in the Post-Biological Era», Roy Ascott (Hrsg.), Intellect, Bristol und Portland, 2005. Die gesammelten Schriften von Roy Ascott erschienen unter dem Titel «Telematic Embrace: Visionary Theories of Art, Technology and Consciousness», Edward A. Shanken (Hrsg.), University of California Press, Berkeley, 2003.



Biographien



Reinhold A. Bertlmann, geb. 1945.

Studium der technischen Physik an der Technischen Universität Wien und der theoretischen Physik und Mathematik an der Universität Wien. Abschluss mit Dissertation und Promotion zum Dr. phil. Assistent am Institut für Theoretische Physik der Universität Wien, Research Fellow am JINR, Dubna, Russland, mehrere Jahre Fellow am CERN in Genf, Habilitation für Theoretische Physik an der Universität Wien, verschiedene Gastprofessuren an der Universität Marseille, Gastprofessor an der Université Paris-Sud und am CNRS, Orsay. Seit

1987: Universitätsprofessor an der Universität Wien. Publikationen: «Anomalies in Quantum Field Theory», Oxford University Press, 2000. Zusammen mit Anton Zeilinger: «Quantum (Un)speakables: From Bell to Quantum Information», Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York u.a., 2002.

Biographien



Ulrike Gabriel, geb. 1964.

Medienkünstlerin. Sie experimentierte in den neunziger Jahren mit computergesteuerten Systemen an der Akademie dBK, München, am Helicopterlab MBB, Ottobrunn, am Institut für Neue Medien Frankfurt, am Canon Artlab Tokyo, an der KHM Köln und dem V2-Lab in Rotterdam. Gabriels digitale Medieninstallationen sind Beispiele interaktiver Systeme im Grenzbereich zwischen Kunst und Wissenschaft. Die Erfahrungen, die ein Benutzer dieser Arbeiten macht, bestehen einerseits auf der unbewussten Erfahrung von Gefühls-

zuständen und andererseits auf dem bewussten Erlebnis, das durch Interaktion zustande kommt. Gabriels Arbeiten wurden in Ausstellungen und Festivals auf der ganzen Welt gezeigt.

Biographien



Ernst von Glasersfeld, geb. 1917.

Als Kind österreichischer Eltern wuchs er in Norditalien und der Schweiz auf. Kurzes Studium der Mathematik in Zürich und Wien. Den 2. Weltkrieg überlebte er als Farmer in Irland. 1946 Rückkehr nach Italien, wo er bis 1961 als Journalist in Ceccato's Scuola Operativa Italiana (Sprachanalyse und maschinelle Übersetzung) arbeitete. Ab 1962 ist er Direktor eines von Amerika aus gesponserten Forschungsprojekts im Bereich der computerbasierten Linguistik. Ab 1970 lehrt Glasersfeld kognitive Psychologie an der University of Georgia. Ab

1987 Professor Emeritus und Research Associate am Scientific Reasoning Research Institute der University of Massachusetts. 1988 Chairman der 3. Gordon Research Conference in Kybernetik, Oxnard, Kalifornien. Die American Society for Cybernetics verlieh ihm 1991 den Warren McCulloch Memorial Award und die Universität Klagenfurt 1997 den Ehrendoktor. Publikationen (Auswahl): «The Construction of Knowledge», Intersystems Publications, Seaside, California, 1987; «Wissen, Sprache und Wirklichkeit», Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1987; «Über Grenzen des Begreifens», Benteli-Verlag, Bern, 1996; «Wege des Wissens», Carl Auer Verlag, Heidelberg, 1997. In dem 2008 im Wiener Folio Verlag erschienen Buch «Ernst v. Glasersfeld. Unverbindliche Erinnerungen. Skizzen aus einem fernen Leben» erzählt Glasersfeld persönliche Geschichten seines Jahrhunderts: Begegnung mit Erwin Schrödinger, Freundschaft mit Erskine Childers, dem späteren Präsidenten von Irland, Gespräche mit Berenson und Fellini, Freundschaft mit Heinz von Foerster, Ausarbeitung des «Radikalen Konstruktivismus».

Biographien



Stuart Hameroff, geb. 1947.

Hameroff ist ein klinischer Anästhesiologe, der am medizinischen Zentrum für Chirurgie der Universität Arizona tätig ist. Seit Mitte der neunziger Jahre ist er Mitorganisator der internationalen Konferenz «Toward a Science of Consciousness» in Tucson, Arizona. Hameroffs Forschungsgebiet umfasst verschiedene Aspekte der Anästhesiologie und des Bewusstseins. Es ist auf zwei Hauptfragen fokussiert: Auf welche Weise gelingt es anästhetisierenden Gasmolekülen, Bewusstsein reversibel ausser Kraft zu setzen? Wie verarbeiten intrazelluläre Proteinstrukturen (Mikrotubuli) Informationen auf dem molekularen neuronalen Level? Anfangs der neunziger Jahre begann Hameroff mit dem britischen mathematischen Physiker Roger Penrose zusammenzuarbeiten, mit dem er das sogenannte «Orch-OR-Bewusstseinsmodell» entwickelt hat. Bei diesem Modell des Bewusstseins werden die paradoxen Eigenschaften des Beobachters beim Messprozess durch einen objektiven physikalischen Prozess – die sogenannte Orch-OR oder «Orchestrierte Objektive (Quantenzustands-) Reduktion» – ersetzt. Hameroff hat über 100 Artikel und verschiedene Bücher publiziert. Seit 2004 ist er amtierender Direktor des Zentrums für Bewusstseinsstudien der Universität Arizona.

Biographien



Luis Eduardo Luna, geb. 1947.

Er erhielt seinen Ph.D. vom Institute of Comparative Religion der Universität Stockholm und studierte an der Universität Oslo und an der Universidad Complutense in Madrid. Luna ist ein Guggenheim Fellow und Mitglied der Linnean Society, London. Seit 1986 Mitglied des Botanischen Museums der Harvard Universität. Zusammen mit Pablo Amaringo gründete er die Usko-Ayar Amazonian School of Painting of Pucallpa in Peru. Luna ist Direktor von Wasiwaska, dem Research Center for the Study of Psychointegrator Plants, Visionary

Art and Consciousness in Florianópolis, Brasilien. Luna hat in verschiedenen Ländern Ausstellungen visionärer Malerei, die unter dem Einfluss der psychoaktiven Substanz Ayahuasca entstanden ist, kuratiert. Er hält weltweit Vorträge über Schamanismus, psychoaktive Pflanzen und visionäre Kunst. Publikationen: «Vegetalismo: Shamanism among the Mestizo Population of the Peruvian Amazon», 1986. Als Co-Autor mit Pablo Amaringo: «Ayahuasca Visions: The Religious Iconography of a Peruvian Shaman», North Atlantic Books, Berkeley, 1991. Als Co-Herausgeber mit Steven F. White: «Ayahuasca Reader: Encounters with the Amazon's Sacred Vine», Synergetic Press, Santa Fe, 2000. Zusammen mit Rick Strassman, Slawek Wojtowicz: «Inner Paths to Outer Space: Journeys to Alien Worlds Through Psychedelics and Other Spiritual Technologies», Park Street Press, Rochester, 2008.

Biographien



Josef Mitterer, geb. 1948.

Er ist Professor für Philosophie an der Universität Klagenfurt. Studium in Linz, Graz und Berkeley. Langjährige Tätigkeit im Tourismus als Tour-Manager, Consultant und Copywriter. Lektor und Gastprofessor an verschiedenen Universitäten; seit 1990 an der Universität Klagenfurt. In seinen Arbeiten rekonstruiert Mitterer die Philosophie als Argumentationstechnik, mit deren Hilfe beliebige Auffassungen gerechtfertigt werden können. Die Kritik des dualistischen Erkenntnisprinzips, das die Philosophie seit den Griechen bestimmt, führt zur Entwicklung einer Theorie, die auf die Voraussetzung dichotomischer Unterscheidungen verzichtet, und zur Verabschiedung der Suche nach Wahrheit und Erkenntnis zugunsten eines «pursuit of change». Veröffentlichungen: «Die Flucht aus der Beliebigkeit», Fischer, Frankfurt a. M., 2001; «Das Jenseits der Philosophie. Wider das dualistische Erkenntnisprinzip», Passagen, Wien, 1992; Hrsg. (zusammen mit W. Dörfler): «Ernst von Glasersfeld – Konstruktivismus statt Erkenntnistheorie», Drava, Klagenfurt, 1998.

Biographien



Sir Roger Penrose, geb. 1931.

Penrose ist Professor Emeritus der Universität Oxford und Mitglied der Royal Society. Für seine wissenschaftlichen Beiträge zur Kosmologie, insbesondere zur Theorie der Schwarzen Löcher und zur Parkettierungstheorie, in die er die nach ihm benannte «nicht-periodische Parkettierung der Ebene» einführte, erhielt er zahlreiche wissenschaftliche Auszeichnungen und den Adelstitel der Britischen Krone. Seine beiden Bücher «Computerdenken» und «Schatten des Geistes» sind seit Erscheinen der englischen Originalausgaben in-

ternationale Bestseller. In «Schatten des Geistes» diskutiert Roger Penrose «Wege zu einer neuen Physik des Bewusstseins», mit der sich Bewusstsein zwar nicht berechnen, aber doch verstehen lässt. Penrose begründet seine platonische Sichtweise ausgehend von den Möglichkeiten und Grenzen von algorithmischen Computersimulationen im Rahmen der Künstlichen Intelligenz, bei der er die Grundlagen der mathematischen Logik und insbesondere des Gödelschen Unentscheidbarkeitsatzes auseinandersetzt.

Biographien



Otto E. Rössler, geb. 1940.

Er studierte Medizin in Tübingen. Nach seiner Promotion 1966 war er Post-Doc am Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen. Ab 1970 Professor an der Universität Tübingen, wo er am Institut für Physikalische und Theoretische Chemie Nichtlineare Dynamik, dissipative Strukturen, Chaosforschung, Gehirngleichungen, fundamentale Physik, Endophysik und deduktive Biologie lehrt. Gastprofessor an vielen internationalen Universitäten und zahlreiche Vorträge in verschiedenen Ländern und an internationalen Tagungen.

Er veröffentlichte mehr als dreihundert wissenschaftliche Arbeiten über künstliches Leben und künstliche Gehirne, differenzierbare Automaten, chaotische Attraktoren, Hyperchaos, Endophysik, Mikrorelativität und Computer-Schnittstellen; ausserdem philosophische Arbeiten über Anaxagoras, Descartes, Leibniz, Bosovich und Kant. Jüngere Arbeiten betreffen das Internetprojekt «Lampsacus». Mitherausgeber mehrerer wissenschaftlicher Zeitschriften. Publikationen (Auswahl): «Jonas' Welt. Das Denken eines Kindes», zus. mit Reimara Rössler, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 1994; «Endophysik: Die Welt des inneren Beobachters», Merve Verlag, Berlin, 1992; «Das Flammenschwert oder Wie hermetisch ist die Schnittstelle des Mikrokonstruktivismus?», Benteli-Verlag, Bern, 1996; «Medium des Wissens. Das Menschenrecht auf Information», Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 2000; «Descartes' Traum. Von der unendlichen Macht des Aussenstehens» (Audio-CD), Supposé, Köln, 2002.

Biographien



Peter Weibel, geb. 1944.

Vorstand des Zentrums für Kunst und Medientechnologie, Karlsruhe; Medienkünstler. Weibels Verständnis der neuen Medien und des Computers gründet im Umfeld des klassischen Wiener Kreises. In der medialen Aufbruchstimmung der sechziger Jahre interessierten ihn Möglichkeiten und Strategien, die Fähigkeiten des Körpers mit Hilfe der Medien zu erweitern. Nachdem er die Domäne gesellschaftskritischer Aktionen verliess, wandte Weibel sich verstärkt der Interpretation ästhetischer Phänomene zu. Er promovierte über mathe-

matische Logik, war von 1986 bis 1995 künstlerischer Leiter der Ars Electronica in Linz, leitete das Institut für Neue Medien an der Städelschule in Frankfurt und unterrichtet als Professor für visuelle Medien an der Universität für Angewandte Kunst in Wien. 1997 erhielt er den Siemens-Kulturpreis. In seinen Publikationen beschäftigt sich Weibel unter anderem immer wieder mit der Frage, wie sich Bewusstsein und Subjekt im digitalen Zeitalter zueinander verhalten. Aufgrund seiner Professuren, Ausstellungen und Publikationen gilt er als einer der wichtigsten Repräsentanten der österreichischen Kultur. Wichtige Bücher: «Die Beschleunigung der Bilder», Benteli-Verlag, Bern, 1987; «Kontext Kunst», DuMont, Köln, 1994; «Peter Weibel. Bildwelten 1982–1996», Triton, Wien, 1996; «Jenseits von Kunst», Passagen, Wien, 1997.

Biographien



Anton Zeilinger, geb. 1945.

Er studierte an der Universität Wien und promovierte 1971 mit einer Arbeit über festkörperphysikalische Untersuchungen mit Neutronen. Seit 1972 Assistent am Atominstitut der Österreichischen Universitäten, interessierte er sich bald für fundamentale Experimente zur Quantenmechanik. 1977–1978 Post-Doc am Massachusetts Institute of Technology (M. I. T.) bei C. G. Shull (Nobelpreis 1994), Habilitation an der Technischen Universität Wien 1979, Associate Professor am M. I. T. 1981–1983, dann Universitätsprofessor an der Technischen Universität Wien, 1990 Universitätsprofessor an der Universität Innsbruck. Er kehrte 1999 als Professor an das Institut für Experimentalphysik an der Universität Wien zurück. Schwerpunkte seiner Forschungstätigkeit: Grundlagen der Quantenphysik, Quanten-Teleportation, Quantenmechanische Phänomene mit Photonen, Neutronen, Atomen und grossen Molekülen. Zahlreiche internationale Aufenthalte führten ihn unter anderem auch an die Universität Melbourne, an die Universität Oxford und an das Collège de France in Paris. 1998 hat ihm die University of Science and Technology of China 1998 eine Honorarprofessur verliehen. Im Jahre 2000 wurde er in den Orden Pour le Mérite für Wissenschaften und Künste gewählt. Im selben Jahr erhielt er den Forschungspreis der Alexander von Humboldt-Stiftung und den Wissenschaftspreis der Stadt Wien. Publikationen (Auswahl): «Einsteins Schleier: Die neue Welt der Quantenphysik», Beck, München, 2003; «Spukhafte Fernwirkung. Die Schönheit der Quantenphysik» (2 Audio-CDs), Supposé, Köln, 2005; «Einsteins Spuk: Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik», Bertelsmann, München, 2005.

Die für dieses Buch ausgewählten Luzerner Gespräche zu Themen aus Naturwissenschaft, Technik und Ästhetik, legen den Fokus auf die seit einigen Jahren polemisierte Beziehung zwischen Quantenphysik und Gehirnforschung. Dabei wird für die Leserin und den Leser nachvollziehbar, wie akademische Streitgespräche als spannende Auseinandersetzung zwischen herausragenden Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen geführt werden. Aufgrund der einzigartigen Konstellation der Gespräche mit Spitzenvertretern der entsprechenden Fachgebiete – Quantenphysik, Neurowissenschaften, Philosophie, sowie Ethnologie, Medienwissenschaften und Medienkunst – sind sie als ausgezeichnete Einführung insbesondere in das schwierige Verhältnis von Quantentheorie und Neurowissenschaften lesbar.

Eine der Paradoxien, mit denen die Quantenphysik das menschliche Denken ausreizt, ist die vom österreichischen Physiker Anton Zeilinger 1997 vorgeführte Teleportation von Quantenzuständen. Den naturwissenschaftlichen und erkenntnistheoretischen Kontext der Aufsehen erregenden Experimente bilden die Phänomene der Quantenverschränkung und Nichtlokalität. Im vorliegenden Buch werden diese Phänomene kontrovers diskutiert, da ihre probabilistischen Eigenschaften für die Naturwissenschaft eine echte Provokation darstellen. Das Buch gibt auch Einblicke in neue quantenphysikalische Erklärungsversuche der Wirkung von bewusstseinsweiternden Substanzen wie Ayahuasca, einem halluzinogenen Präparat aus dem Amazonasbecken. Ein Glossar mit über 90 Begriffen aus der Quantenphysik, den Neurowissenschaften und der Philosophie sowie Wissenschaftlern und Forschenden dieser Disziplinen, vermittelt den Lesenden das für das vertiefte Verständnis der Gespräche nötige Hintergrundwissen.

