

Was, wenn NICHTS die Welt im Innersten zusammenhält?

Über das „Vakuum“ der Quantenphysik und „emergente Phänomene“

Von Gerhard Grössing,

Austrian Institute for Nonlinear Studies,
Akademiefhof, Friedrichstr. 10, A-1010 Wien
e-mail: ains@chello.at

Vortrag im Rahmen des Symposiums
DAS NATURWISSENSCHAFTLICHE WELTBILD AM BEGINN DES 21. JAHRHUNDERTS.
Symposium der Karl Popper Foundation an der Universität Klagenfurt, 14. - 15. Oktober 2005.

Prolog

Die Situation der Physik am Beginn des 21. Jahrhunderts teilt einige auffällige Gemeinsamkeiten mit jener am Beginn des 20. Jahrhunderts. (Am Schluss dieses Beitrags werde ich allerdings auch auf wesentliche Unterschiede hinweisen müssen.) Wie damals werden auch heute sehr divergierende Einschätzungen des (jeweils) aktuellen Zustands der Physik vermittelt.

Einerseits wurde vor etwa 100 Jahren und wird nun wieder die Meinung vertreten, dass die „wesentlichen“ Fragen der Physik weitreichend beantwortet seien und ab nun nur noch die Behandlung immer komplexerer Fälle und Detailstudien in Bereichen anstünden, die „im Prinzip“ durch die bestehenden und vielfach bestätigten Theorien abgedeckt würden. In diesem Sinn ist heute sogar von einem „Ende der Wissenschaft“ die Rede, so wie wir sie bisher verstanden [Horgan].

Andererseits muss aber auch zugestanden werden, dass die gegenwärtige Physik mit der größten Diskrepanz zwischen Theorie und Empirie zu tun hat, mit der sie je konfrontiert war, nämlich mit widersprüchlichen Aussagen, die um etwa 120 Größenordnungen (!) differieren: Die Vorhersage moderner Quantenfeldtheorien zum Energiegehalt des sogenannten „Vakuums“ (also eines Raumbereichs ohne „Materie“ im herkömmlichen Sinn) ist um einen Faktor von ungefähr 10^{120} zu groß und steht damit in eklatantem Widerspruch zu den existierenden astrophysikalischen bzw. kosmologischen Daten über den möglichen Energiegehalt des Universums.¹

Ist man also gewillt, diese Diskrepanz tatsächlich zur Kenntnis zu nehmen und im Zusammenhang mit dem Zustand der gegenwärtigen Physik allgemein zu reflektieren, so kann kein Zweifel darüber bestehen, dass a) das Ende der Physik keineswegs in Sicht ist und b) sie sich vielmehr im Zustand einer veritablen Krise befindet. Diese Krise wird umso offensichtlicher, als derzeit von den bestehenden kanonischen Theorien, die mit dem Themenkreis befasst sind (Quantentheorie und Allgemeine Relativitätstheorie), kaum Anhaltspunkte zu ihrer Bewältigung geliefert werden.

Diese Krisensituation erinnert daher eher an Phasen des Umbruchs, wie sie in der Wissenschaftstheorie ausführlich anhand etwa der Kopernikanischen Wende illustriert und modelliert werden. Hans Blumenberg hat in seiner Studie zu eben dieser Wende eine gewisse „Ausschöpfung der Systemleistung“ als Anfangsbedingung ausgemacht (in diesem Falle: des Ptolemäischen Weltbilds), die schließlich zu einer „Lockerung der System-Struktur“ überhaupt führte und so erst die Kopernikanische Wende möglich machte. [Blumenberg] Es ist sehr leicht vorstellbar, dass Ähnliches auch heute zutrifft.

Sowohl Relativitäts- als auch Quantentheorie sind hoch-spezialisierte Wissenschaftszweige, *per se* jeweils vielfach bestätigt und praktisch angewandt, doch ist es trotz gehöriger Anstrengungen nicht gelungen, die beiden Theorien zu vereinen. Da wir aber in *einer* Welt leben, die nicht ein Mal relativistisch und ein

¹ Vor 100 Jahren war es die Quantisierung des Strahlungsfeldes, die zunächst zu massiver Irritation und später zur Quantentheorie führte.

anderes Mal quantenmechanisch existiert, müsste eben in einer übergeordneten bzw. wesentlich erweiterten Theorie etwa der Energiegehalt des Vakuums richtig vorhergesagt und mit *allen* diesbezüglichen empirischen Daten in Übereinstimmung gebracht werden können.

Von einer solchen Theorie ist heute nicht viel zu erkennen, wenn man sich auf die Aussagen der Fachleute in den jeweiligen Bereichen von Relativitätstheorie und Quantentheorie beschränkt. Aus diesem Grund ergibt sich die doch naheliegende Frage, ob nicht ein neuer Input für die angestrebte neue Theorie von anderswo herkommen müsste? Tatsächlich gibt es deutliche Anzeichen für eine entsprechende Neuausrichtung, und dies soll im Folgenden zur Sprache kommen.

1. Reduktionismus und Emergenz

In der Ausgabe vom 7. April 2005 der Zeitschrift „Nature“ schreibt der Physiker und Nobelpreisträger Philip Anderson in einer Besprechung von *A Different Universe*, einem neuen Buch des Physikers und Nobelpreisträgers Robert Laughlin, unter anderem: „Seit vielen Jahren denke ich, dass ein Buch wie dieses geschrieben werden müsste ... 'A Different Universe' ist ein Buch darüber, was die Physik wirklich ist; es ist nicht nur einzigartig, es ist ein fast unerlässliches Gegengewicht zur neuesten Lieferung an Büchern von Brian Greene, Stephen Hawking und deren Kumpanen, die die Vorstellung propagieren, dass die Physik eine Wissenschaft von vornehmlich tiefen, quasi-theologischen Spekulationen über die ultimative Natur der Dinge sei.“ [Anderson]

Nun sei dahingestellt, ob eine eher hemdsärmelige Herangehensweise zu Fragen der Physik auch gleich eine Ausschließlichkeit beanspruchende „wirkliche Physik“ repräsentiert – ein wohltuendes Antidot gegenüber allzu viel raunendem Tiefgang bei den angesprochenen (und vielen anderen, „populären“) Autoren ist sie allemal. Letztlich repräsentiert sie eine Haltung – und die Lektüre etwa von Laughlins Buch unterstreicht dies –, die sich gegen allzu pauschale Urteile über das „Wesen der Wirklichkeit“ und dergleichen, und vor allem auch gegen eine allzu reduktionistische Weltsicht wendet.

Das Faustische Ideal, herausfinden zu wollen, „was die Welt im Innersten zusammenhält“, ist anscheinend besonders bei Physikern eine beliebte Motivation, wenngleich weder klar ist, ob es ein solches „Innerstes“ überhaupt gibt², noch ob in diesem vermuteten Innersten die Welt wirklich zusammengehalten wird. Die reduktionistische Grundposition basiert letztlich auf der Spekulation, dass es gewissermaßen „am tiefsten Grund der Dinge“ die *eine* Formel geben müsse, die *Weltformel* eben, in der „ALLES“ zusammengefasst aufscheint (vgl. „Theories of Everything“ usw.).

Das von Laughlin propagierte Gegenkonzept zu solch reduktionistischen Grundsätzen findet sich in wissenschaftlichen Publikationen seit ungefähr dem letzten Drittel des 20. Jahrhunderts, und zwar unter verschiedenen Bezeichnungen wie Emergenz, Selbstorganisation, nichtlineare kollektive Phänomene usw.. Laughlin

² Hochenergie-Physiker oder etwa die PR-Abteilung des CERN verkünden seit Jahrzehnten, es müsse sich um die kleinsten „Bausteine“ der Materie handeln, derzeit Quarks und Leptonen etwa, aber wer weiß?

konnte etwa in seiner Arbeit, die ihm 1998 den Nobelpreis einbrachte, das Modell der Selbstorganisation erfolgreich auf einen erst kürzlich durch von Klitzing entdeckten Effekt, den sogenannten „fraktionellen Quanten-Hall-Effekt“ anwenden, der mit herkömmlichen, reduktionistischen Methoden nicht erklärt werden konnte.

Für Laughlin ist es von Klitzings Entdeckung, die einen entscheidenden, historischen Umbruch markiere, „einen bestimmenden Moment, an dem die physikalische Wissenschaft festen Schritts vom Zeitalter des Reduktionismus in das Zeitalter der Emergenz übergetreten ist. (...)

Dieser Übergang wird gewöhnlich in populären Publikationen als der Übergang vom Zeitalter der Physik in jenes der Biologie beschrieben, aber das stimmt nicht ganz. Was wir heute sehen, ist ein Übergang von einer Weltsicht, in der das Ziel, die Natur zu verstehen, darin besteht, sie in immer kleinere Teile aufzubrechen, durch das Ziel abgelöst wird, zu verstehen, wie die Natur sich selbst organisiert.“

Als einfaches und illustratives Beispiel denke man etwa an Wasser in seinem Zustand als Festkörper, das heißt, als Eis: Obwohl zusammengesetzt aus einzelnen H_2O -Molekülen, entsteht das Phänomen „Eis“ erst bei einer sehr großen Anzahl, Millionen von Millionen, solcher Moleküle. Eis ist also ein „emergentes Phänomen“, dessen Eigenschaften (wie etwa die Steifheit dieses Festkörpers) *nicht* aus der Mikrodynamik herleitbar ist!

Wenn auch oft behauptet wird, die Eigenschaften der Materie seien „im Prinzip“ allesamt durch die Grundgleichungen der Quantentheorie bestimmt, so ist dies dennoch unrichtig: Derzeit kennt man mindestens 14 unterschiedliche kristalline Phasen von Wasser-Eis, doch keine einzige kann von der Quantentheorie vorhergesagt werden! (Das „Prinzip“ führt sich dann selbst ad absurdum, wenn etwa die erforderlichen Rechenleistungen bzw. die damit verbundenen Rechenzeiten prinzipiell das Alter des Universums übersteigen.)

Auch bei anderen grundlegenden physikalischen Phänomenen trifft man jenes reduktionistische Vorurteil an, das allerdings genauerer Prüfung nicht standhält, wie Laughlin auch am Beispiel der quantenmechanischen Rechenregeln für die Supraleitung erläutert:

„Die mikroskopischen Gleichungen der Quantenmechanik, wie sie in der Feldtheorie enthalten sind, sind verschieden von jenen des tatsächlichen Materials und daher falsch. Die einzige Art, von falschen Gleichungen auszugehen und die richtige Antwort zu erhalten, liegt darin, dass die Eigenschaft, die berechnet wird, robust-unempfindlich ist gegenüber etwaigen Details, d.h. emergent.“[Laughlin]

Emergente Phänomene beschränken sich aber keineswegs nur auf mikroskopische Bereiche. Machen wir nun einen Sprung in die Welt der großen Objekte und beginnen wir mit den Sternen.



Bild 1: Photographie eines Ausschnitts des Sternenhimmels

Bild 1 zeigt die Photographie eines unspektakulären Ausschnitts des Sternenhimmels, bei dem die Sterne als diskrete Pünktchen vor dem kontinuierlichen Hintergrund des schwarzen Weltalls erscheinen. In weiterer Folge will ich aber zeigen, dass dieses Bild insofern als trügerisches bezeichnet werden kann, als es suggeriert, dass Sterne eben „diskrete Einheiten“ in der „Leere“ des interstellaren Raums seien (wovon man ja auch über Jahrhunderte hinweg überzeugt war). Betrachten wir als nächstes Bild eine Photographie des uns am nächsten gelegenen Sterns, unserer Sonne (Bild 2).



Bild 2: Die Sonne im Spektralbereich des sichtbaren Lichts

Diese Aufnahme wurde im Spektralbereich des sichtbaren Lichts gewonnen und sie hinterlässt den Eindruck, dass die Sonne eine (fast perfekte) Kugelform besitzt. Tatsächlich kann man den Durchmesser der Sonne mit ungefähr 1,5 Millionen Kilometer angeben. Aber *ist* die Sonne deshalb auch „wirklich“ eine Kugel?

In Bild 3 sehen wir eine Aufnahme der Sonnen-Korona (im sichtbaren Licht), wie sie anlässlich einer totalen Sonnenfinsternis durch Verdunkelung der „Sonnenscheibe“ möglich wird. Es ist leicht zu erkennen, dass die Filamente der Korona weit in den Weltraum hinausreichen. Bedenkt man, dass die Temperatur der Korona mit etwa 1 Million Grad Celsius extrem hoch ist (die Oberflächentemperatur der Sonne beträgt dagegen „nur“ etwa 6000 Grad Celsius), so wird mit dieser Information offensichtlich, dass „die Sonne“ kein Objekt ist, das bloß innerhalb des Volumens einer Kugel mit 1,5 Millionen Kilometern Durchmesser existiert. Vielmehr ist sie ein Himmelskörper, der weit über besagtes Kugelvolumen hinausreicht. Aber wie weit?



Bild 3: Die Sonnen-Korona bei der totalen Sonnenfinsternis vom 11. 8. 1999

Tatsächlich reicht die (in Analogie zur „Atmosphäre“ der Erde) so genannte „Heliosphäre“ weit über das Volumen, das die Planeten unseres Sonnensystems einschließt, in den interstellaren Raum hinaus. Weiters gilt zu bedenken, dass die sogenannte „Oortsche Wolke“, ein Ring aus Materiebrocken – ähnlich dem Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter –, der als das Herkunftsgebiet der meisten Kometen angenommen wird, vermutlich eine Ausdehnung von etwa zwei Lichtjahren besitzt. Vergleicht man dies mit der Distanz unserer Sonne zum nächstgelegenen Stern, *Proxima Centauri*, von etwa 4 Lichtjahren, so liegt der Schluss nahe, dass das „Objekt Sonnensystem“ fließend in benachbarte „Objekte“ übergeht und es hier folglich kein „leeres Weltall“ gibt.

Machen wir nun wieder einen gewaltigen Sprung im Sinn eines „Zoomens“, heraus aus dem Bereich der unmittelbaren Umgebung der Sonne, und überschauen wir ein Raumvolumen, in dem Milliarden von Sonnen (Sternen) vorkommen. Wie schon aus unserer Diskussion über die Physik im Kleinen bekannt, können wir auch hier wieder emergente Strukturen erwarten. Tatsächlich handelt es sich dabei um die Spiralstruktur der Milchstraße, die eben erst in Erscheinung tritt, wenn eine derart große Zahl von Sternen überschaut wird. Noch besser erkennen wir die Spiralstrukturen in fernerer Galaxien, wie zum Beispiel jene der treffender Weise „Whirlpool“ genannten Galaxie M 51, die wir gewissermaßen „von oben“ in ihrer ganzen Pracht beobachten können (Bild 4).



Bild 4: Emergente Spiralarme in der „Whirlpool“-Galaxie M 51

Die Sterne sind also, bei geeigneter „Auflösung“ beobachtet, keineswegs voneinander isolierte Punkte im Raum, sondern folgen einer übergeordneten Dynamik, die sich mit hydrodynamischen Ansätzen modellieren lässt. Ähnliches gilt nach neueren Erkenntnissen aber auch für den noch viel größeren, intergalaktischen Raum. In den letzten Jahren hat sich nämlich gezeigt, dass die Galaxien-Verteilung im Universum selbst wieder einer hydrodynamisch modellierbaren Dynamik unterliegt, in der eine filament- bzw. blasenartige Struktur emergiert, sobald man viele Millionen Galaxien selbst im Computer nur mehr als Punkte modelliert und deren Gesamtverteilung auf Skalen von der Größe des Universums studiert (Bild 5).

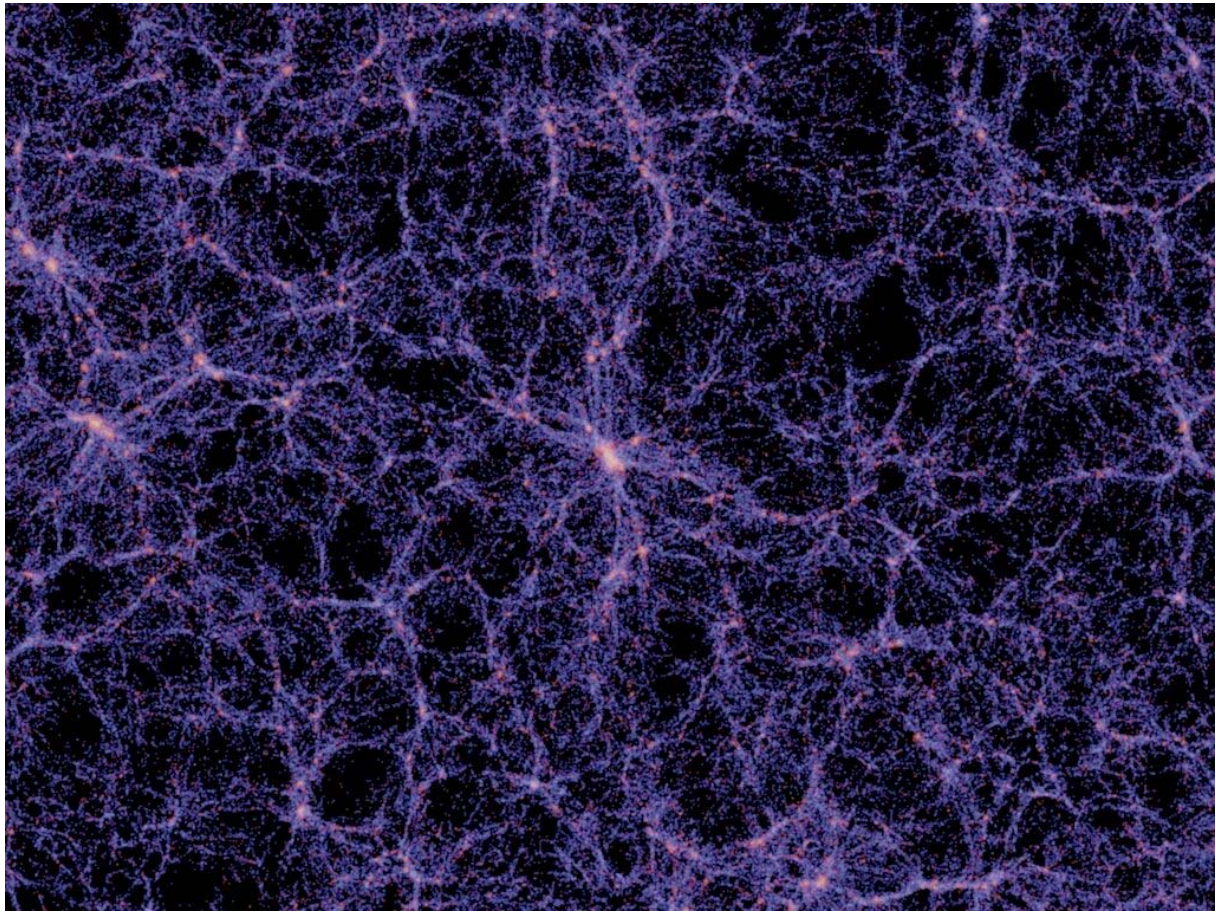
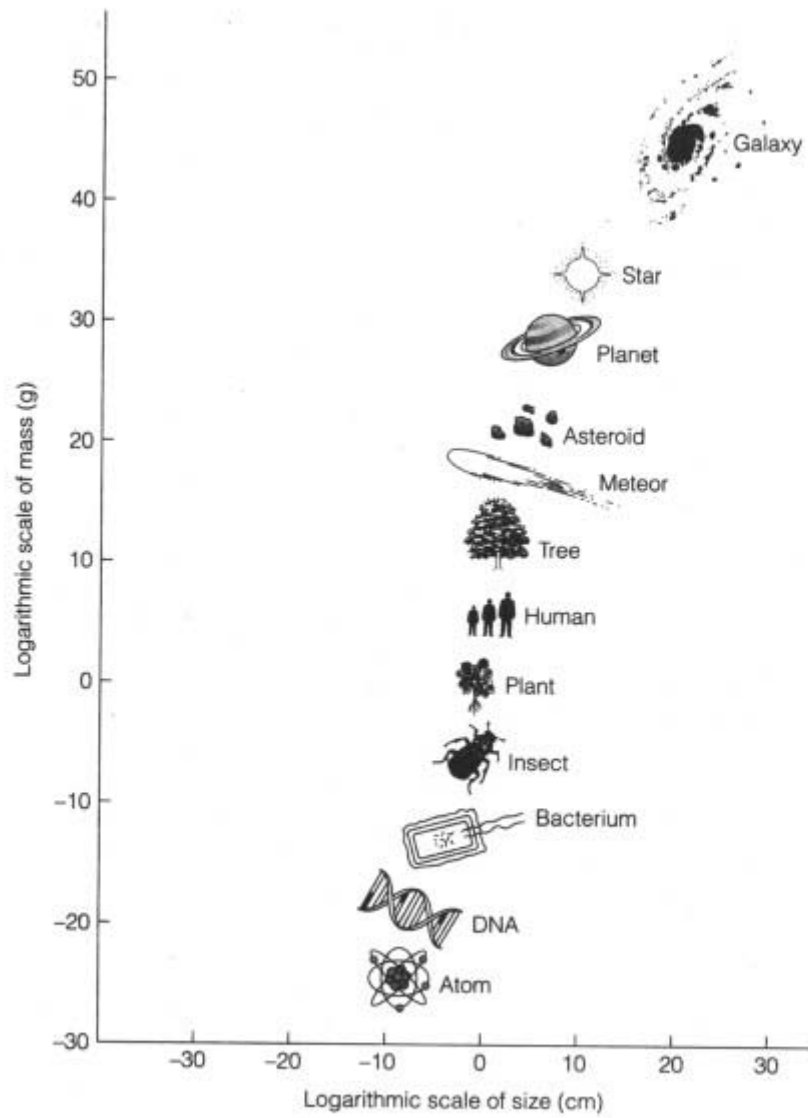


Bild 5: Computersimulation der Galaxienverteilung im Universum

2. Raum-Zeit als „Fluidum“, Emergenz von Quanten aus dem „Vakuum“

In zahlreichen wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Darstellungen werden Diagramme wie jenes aus Bild 6 angeführt, die einige der „wesentlichsten Strukturen“ im Universum auflisten: Atome, Moleküle, einzelne Zellen, Pflanzen, Tiere, Menschen, Felsen, Monde, Planeten, Galaxien. Nie findet man in solchen Diagrammen oder Tabellen: Flüsse, Wälder, Wüsten, Wolken, Meere, Eisenbahn- oder Telekommunikations-Netzwerke, Städte... Bild 7 zeigt hingegen einige Beispiele für „kontinuierliche“ Strukturen auf allen Längenskalen, die durch „hydrodynamische“ Gleichungen der Kontinuums-Mathematik beschrieben werden.



The masses and sizes of some of the most significant structures found in the Universe.

Bild 6: Auswahl „wesentlicher Strukturen“ im Universum bei John D. Barrow, *The artful Universe*, Oxford 1995.

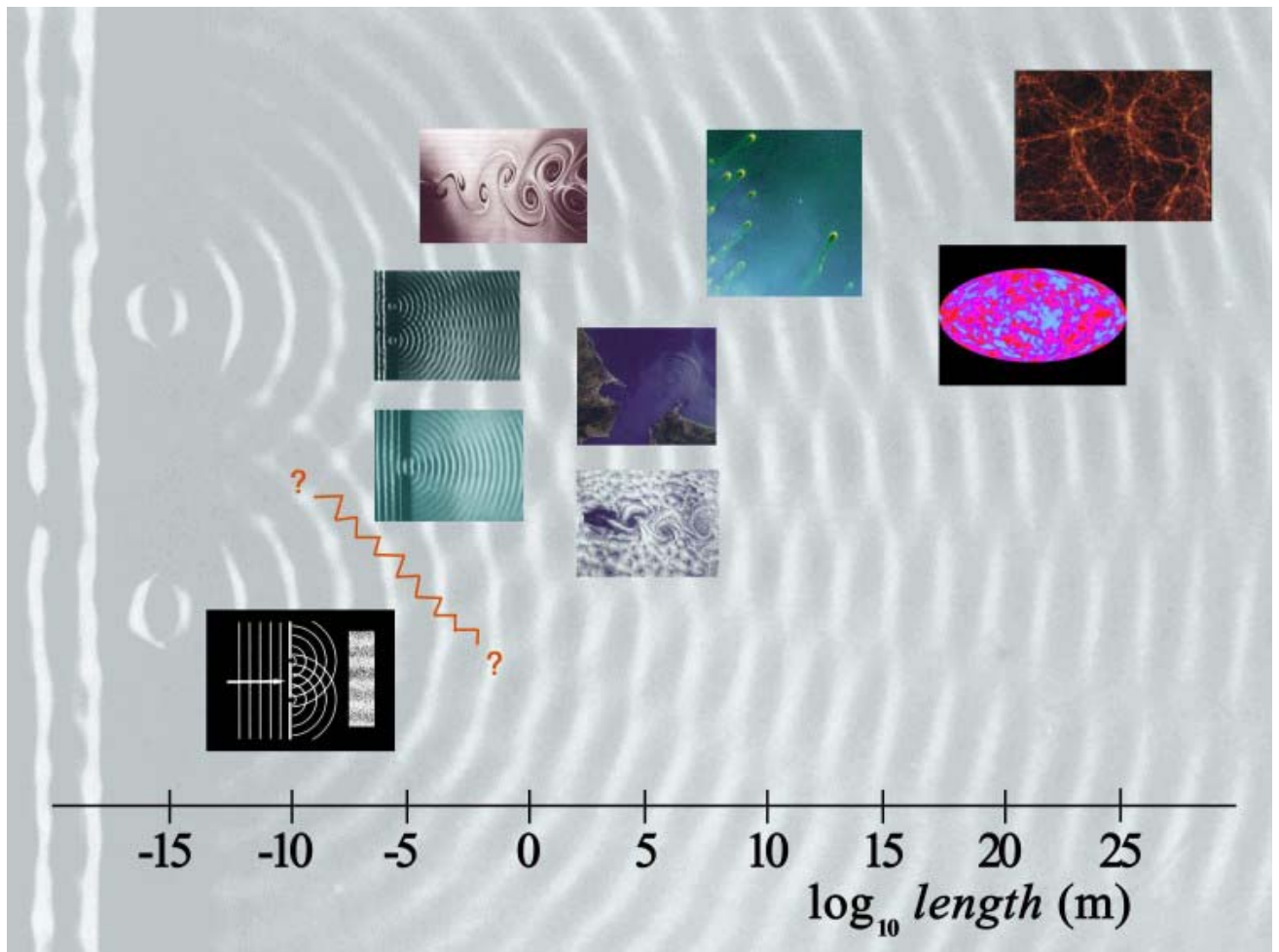


Bild 7: Einige Beispiele für „kontinuierliche“ Strukturen auf allen Längenskalen, die in Zusammenstellungen wie Bild 6 nicht vorkommen. Die hier abgebildeten Strukturen können allesamt durch Gleichungen der Kontinuums-Mathematik beschrieben werden, wie sie üblicherweise in der Hydrodynamik Verwendung finden.

Die Abbildungen zeigen, von rechts nach links: Hydrodynamisches Modell des frühen Universums, Fluktuationen in der kosmischen Hintergrundstrahlung, „Gastropfen“ im Helix-Nebel, Strömungswirbel bei der Insel Guadeloupe, Strömungswirbel auf einer Skala von Zentimetern, Beugungsmuster der Meereswellen am „Spalt“ von Gibraltar, Beugung von Wasserwellen am Spalt im Zentimeter-Bereich, Beugung von Wasserwellen am Doppelspalt im Zentimeter-Bereich, Schema der Interferenz von Wellen auf Quantenniveau (wobei aber von der orthodoxen Quantentheorie der hier gezeigte, hydrodynamische Kontext heute meist ignoriert wird).

Aus Gerhard Grössing, „Wasser als Vor-Bild zur Naturforschung“, in: Tagungsband *Wasser*, Schriftenreihe *Forum* der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland Bonn, Köln 2000, 69-81.

Aus Bild 7 ist ersichtlich, dass auf praktisch allen Längenskalen, vom herkömmlichen Quantenbereich bis zur Gesamtgröße des für uns sichtbaren Universums, kollektive Phänomene unter Mitwirkung von einer riesigen Anzahl jeweils relativ dazu „mikroskopischer“ Bestandteile auftreten können. Diese führen zur Emergenz von Strukturen, die man nicht aus der Mikrophysik der Bestandteile allein erklären kann – Emergenz passiert immer in energie-durchfluteten, „offenen“ Systemen, deren Randbedingungen wiederum die spezifischen entstehenden Strukturen determinieren. Besonders ist zu beachten, um welche enorme Unterschiede der Größenordnungen zwischen einzelnen Bestandteilen und den emergenten Phänomenen es sich dabei handelt.

Zur Illustration von Größen- bzw. Mengen-Verhältnissen bedenke man die folgende Abschätzung der Gesamtzahl von Sandkörnern auf allen Meeresstränden dieser Erde [Laughlin]. Angenommen, die Gesamtlänge aller Strände betrage etwa 100 000 km, deren Breite im Schnitt 100 m, mit einer Tiefe von durchschnittlich 1 m und einer Größe von etwa 1 mm^3 pro Sandkorn. Eine Schätzung der so festgelegten Gesamt-Anzahl von Sandkörnern ergibt etwa 10^{19} . Dies ist aber auch ungefähr die Anzahl von Luftmolekülen im Volumen von einem cm^3 (also von etwa einem Stück Würfelzucker)! Denken wir also an das Phänomen „Schall“, bei dem es sich um Wellen im Medium Luft handelt, so erkennen wir, mit welchen großen Zahlen von Luftmolekülen man es zu tun haben muss, um eine Emergenz von Schall zu ermöglichen. (Bei einer Anzahl von, sagen wir, „bloß“ einer Million Luftmolekülen kann es prinzipiell noch keine Schallwellen geben!)

Nun sehen wir aber auch, dass die Wellen-Phänomene im Bereich der Quantentheorie (wie Beugung, Interferenz, usw.) nicht notwendigerweise unverständlich bzw. unerklärbar sind, wie dies führende Vertreter der Disziplin immer wieder gerne behaupten. Zerlegt man etwa die Grundgleichung dieser Theorie, die komplexwertige Schrödinger-Gleichung in ihre zwei äquivalenten, dafür aber reellwertigen Pendanten, und betrachtet man deren räumlichen Gradienten, so ergibt sich – das weiß man schon lange – *exakt* das Gleichungssystem der „Brownschen Bewegung“, wie es Albert Einstein zur Beschreibung von „in einem Medium suspendierten Teilchen“ formuliert hatte. Sollte dies bloß ein Zufall sein und *nichts* bedeuten, wie es die Mehrheit der Physiker durch konsequentes Ignorieren dieses Sachverhalts vermuten lässt? Im Gegenteil, vieles spricht dafür, dass man es auch im Falle von Quanten mit Systemen zu tun hat, die als emergent zu betrachten sind – aus einem bis dato noch nicht erforschten (vielleicht auch: technologisch noch nicht im Bereich heutiger Auflösungsmöglichkeiten befindlichen) Sub-Quanten-Bereich.

Man betrachte etwa die Bilderfolge 8 a) – d) der Interferenz von Elektronen an einem Doppelspalt. Anfangs erkennt man nur einige „diskrete“ Punkte, die nichts miteinander zu tun haben scheinen – ganz so, wie die „diskreten“ Sterne von Bild 1, die sich dann aber doch – bei Betrachtung einer Ansammlung von mehreren Millionen – als Ensemble herausstellen, das insgesamt zur emergenten Spiralstruktur der Milchstraße beiträgt. Ganz ähnlich also auch hier: Erst bei einer Ansammlung von etwa 100 000 Teilchen wird deutlich erkennbar, dass die „Teilchen“ sich im Ensemble wie Wellen verhalten.

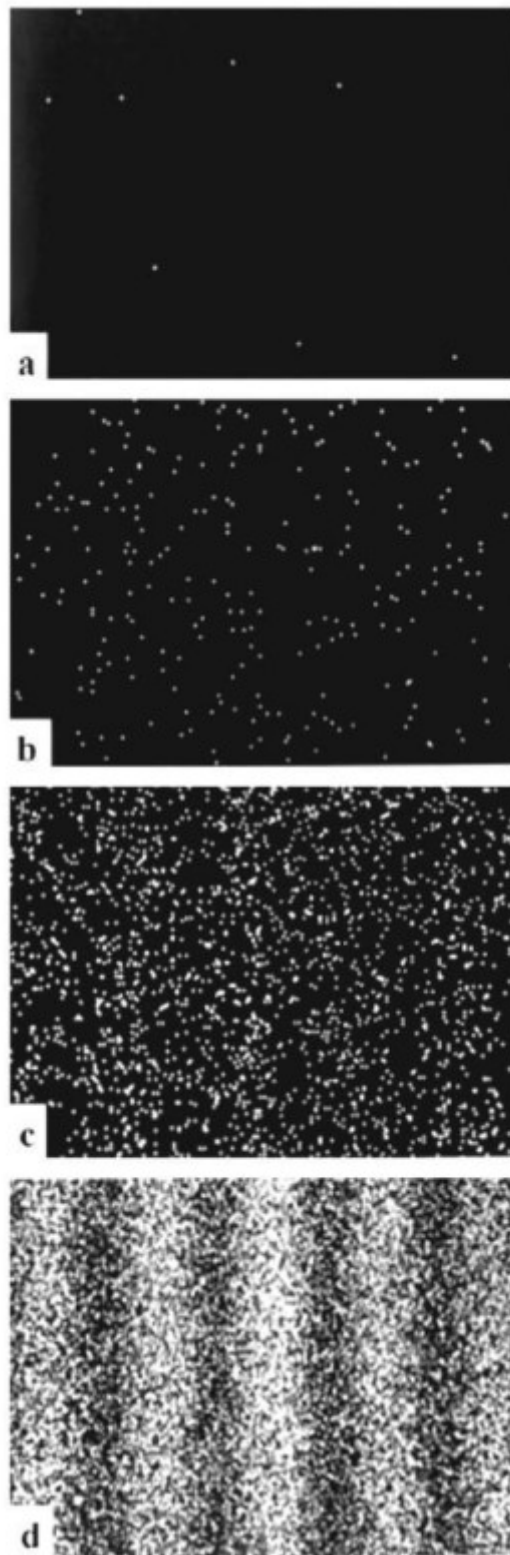


Bild 8: Interferenzmuster erzeugt von Elektronen, die einen Doppelspalt passierten:
(a) 8, (b) 100, (c) 3000, und (d) 100 000 Elektronen.
Aus: A. Tonomura, *Ann. N.Y. Acad. Sc.* **755** (1995) 227.

Einer der Mitbegründer der Quantentheorie, Louis de Broglie, und (später) David Bohm haben ein „kausales“ Modell für Quantensysteme entworfen (in Unterscheidung zum „mysteriösen“ Status der orthodoxen Interpretation), das mittels der oben erwähnten Zerlegung der Schrödinger-Gleichung in zwei äquivalente gekoppelte Gleichungen beschrieben werden kann. Der berühmte Quantenphysiker John Bell bemerkte zu diesem Modell, und gewissermaßen auch im Sinne eines alternativen Angebots gegenüber den auch heute noch weitverbreiteten Mystifikationen der Quantentheorie, die Quantenphänomene als unverstehbar erklären:

„Ist es nicht klar, aufgrund der Kleinheit der Szintillationen auf dem Bildschirm, dass wir es mit einem Teilchen zu tun haben? Und ist es nicht klar, von den Beugungs- und Interferenzmustern, dass die Bewegung des Teilchens durch die Welle gesteuert wurde? De Broglie hat im Detail gezeigt, wie die Bewegung eines Teilchens, das durch bloß eines von zwei Löchern geht, ... durch Wellen beeinflusst werden konnte, die durch beide Löcher gingen. Und zwar so beeinflusst, dass das Teilchen dort nicht hingehet, wo sich die Wellen aufheben, sondern dorthin angezogen wird, wo sie zusammenwirken. Diese Idee erscheint mir so natürlich und einfach, das Welle-Teilchen-Dilemma auf so klare und gewöhnliche Weise aufzulösen, dass es ein großes Mysterium für mich ist, dass sie so allgemein ignoriert wurde.“ [Bell]

Wenngleich auch der Ansatz von de Broglie, Bohm und anderen nicht ohne eigene Schwierigkeiten ist (das ist heute keine der existierenden Interpretationen der Quantentheorie), so deutet er wenigstens in eine gangbare Richtung, in der weiterzuforschen wäre.³ Allen erwähnten „kausalen“ Ansätzen zum Verständnis der Quantentheorie ist eine Annahme gemeinsam: Dass nämlich das „Vakuum“, das ja auch in der herkömmlichen Lehrmeinung keineswegs mehr als „leer“ betrachtet werden darf, ein „Medium“ darstellt, das manchmal wieder mit dem (nur *scheinbar* von der Relativitätstheorie ausgeschlossenen) Terminus „Äther“ bezeichnet wird.⁴ Dabei muss es sich um eine Phase der Materie bei sehr niedrigen Temperaturen handeln, vergleichbar mit der einer Flüssigkeit. Daraus müsste auch nach Robert Laughlin folgen, dass man „die parallelen Terminologien von Materie und Raum in austauschbarer Weise verwendet. Anstelle einer Phase der Materie sprechen wir von einem Vakuum. Anstelle von Teilchen sprechen wir von Anregungen [dieses

³ Ein Kritikpunkt liegt etwa darin, dass auch dieses Modell die Existenz der quantenmechanischen „Wellenfunktion“, deren Dynamik durch die Schrödinger-Gleichung beschrieben wird, unhinterfragt voraussetzt, diese gewissermaßen also ohne theoretische Begründung „vom Himmel fällt“, ganz so wie übrigens auch in der orthodoxen, mystifizierenden Variante. In dieser Hinsicht scheint der Zugang von Edward [Nelson] mehr zu versprechen, der auch versucht, die Wellenfunktion selbst zu erklären. Für einen neuen Ansatz in diesem Sinne, siehe auch [Grössing 2004].

⁴ Man vergleiche dazu etwa [Bell], [Holton], und ganz generell [Whittacker]. Letzterer schrieb schon vor einem halben Jahrhundert: „Wie jeder weiß, spielte der Äther in der Physik des 19. Jahrhunderts eine große Rolle; aber im ersten Jahrzehnt des 20., hauptsächlich infolge der fehlgeschlagenen Versuche, die Bewegung der Erde relativ zum Äther zu beobachten, und der Akzeptanz des Prinzips, dass alle solche Versuche stets fehlschlagen müssen, fiel das Wort ‚Äther‘ in Ungnade, und es wurden gewöhnlich die interplanetaren Räume als ‚leer‘ beschrieben; das Vakuum wurde als bloße Leerheit vorgestellt, die keine Eigenschaften hat außer der Propagierung von elektromagnetischen Wellen. Doch mit der Entwicklung der Quantenelektrodynamik ist das Vakuum zum Sitz der ‚Nullpunkts‘-Schwingungen des elektromagnetischen Feldes erkoren worden, auch der ‚Nullpunkts‘-Fluktuationen von elektrischer Ladung und elektrischem Strom, und einer ‚Polarisation‘ gemäß einer Dielektrizitätskonstante ungleich 1. Es erscheint absurd, den Namen ‚Vakuum‘ für eine Wesenheit so reich an physikalischen Eigenschaften beizubehalten, und das historische Wort ‚Äther‘ kann passender Weise beibehalten werden.“ [Whittacker]

Vakuums].“ [Laughlin]

Neulich wurde erstmals in einem Experiment mittels der Beugung von Röntgenstrahlen an der mikroskopischen Struktur von Kristallen nachgewiesen, dass diese Struktur zeitlichen Fluktuationen auf atomarer Ebene unterliegt. [Mocuta *et al.*] Die klassischen Eigenschaften des bekanntlich „starren“ Festkörpers „Kristall“ entstehen also nachweislich emergent aus den (quantenmechanisch zu beschreibenden) Fluktuationen auf atomarer Ebene. Gerade auch in dieser Hinsicht ist die Feststellung interessant, dass sich quantenmechanisches Verhalten selbst wiederum als emergent aus einem (weitgehend klassisch beschreibbaren) hypothetischen *Sub-Quanten-Medium* darstellen lässt [Grössing 2004]. Insgesamt ergibt sich hier also ein Bild, das „kaskadenartige“ Ebenen der Emergenz zeigt, in denen sich immer wieder „diskrete“ Teilchenphysik und kontinuierliche hydrodynamische Varianten abwechseln (Teilchen im Sub-Quanten-Medium → Wellenverhalten im Quantenbereich → klassische Teilchen → Wellenverhalten klassischer Medien, usw.).

3. Nichts und „Nichts“

Während also das „Vakuum“ schon lange als „Medium“ zu betrachten ist, und keinesfalls als bloße „Leere“, wäre im Prinzip vorstellbar, dass es dieses – dezidiert mit Anführungszeichen versehene - „Nichts“ ist, das die Welt im Innersten zusammenhalten könnte. Allerdings deuten die neuesten kosmologischen Daten mit Nachdruck darauf hin, dass die Anführungszeichen unangebracht sind, da wir es offenbar mit einer anderen Bedeutungsebene von „Nichts“ zu tun haben. Gemäß dem heutigen Stand des Wissens spricht nämlich alles dafür, dass die Expansion des Universums nicht nur nicht gebremst werden wird (nämlich aufgrund eventuell genügend starker gravitativer Anziehung, die letztlich die nach dem „Big Bang“ entstandene Expansionstendenz egalisieren und schließlich zu einem „Big Crunch“ zurückführen würde). Vielmehr zeigen die Rotverschiebungen der weit entfernten Galaxien, dass die Expansion im Laufe des Alterns des Universums immer schneller vor sich geht. Als möglicher Grund wird heute angenommen, dass es eine Art „Druck“ des Vakuums (Einsteins sogenannter „Lamda-Term“) oder eine vergleichbare, dem Vakuum zuzuschreibende Größe geben könnte („dunkle Kraft“), die für die *Beschleunigung der Expansion des Universums* verantwortlich wäre. Nach dem heutigen Stand unseres Wissens ist es also tatsächlich so, dass NICHTS die Welt im Innersten zusammenhält, sondern das (bloß vermeintliche) „Nichts“ sie immer schneller auseinander treibt.

Dieser Gedanke mag für viele Menschen ein unangenehmer sein, weil er einer – wenn auch noch so abstrakten – Idee von „Geborgenheit“ diametral gegenübersteht; aber das ist es, was uns die Physik am Beginn des 21. Jahrhunderts über die Welt im Großen zu sagen weiß.

Epilog

Wie eingangs angekündigt, ist jetzt noch auf wesentliche Unterschiede zwischen der Physik zu Beginn des 21. und der zu Beginn des 20. Jahrhunderts einzugehen. Der auffälligste ist jener in soziologischer Hinsicht: Während im Jahre 1910 etwa die Gesamtzahl aller deutschen und britischen Physiker und Chemiker ungefähr 8000 betrug (und eine weltweite Schätzung wohl im Bereich dieser Größenordnung bleibt), wurde die Zahl der in Forschung und Entwicklung beschäftigten Wissenschaftler und Ingenieure Ende der 1980er weltweit auf etwa 5 Millionen geschätzt! Um das Jahr 2000 schließlich basiert sogar das Alltagsleben auf unserem *gesamten* Planeten auf Resultaten wissenschaftlich-technologischer Forschung, die die Grundlage für den weltweiten technologischen „Boom“ in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts darstellte. [Hobsbawm]

Konnte man also vor 100 Jahren etwa dem in der physikalischen Grundlagenforschung tätigen Physiker eine relativ große, individuelle Gestaltungsmöglichkeit zubilligen, bis hin zum Klischee des genialen Forschers, der sich allein in seiner kleinen Stube (etwa am Berner Patentamt) mit den großen Fragen der Naturphilosophie abmühte, so ist der typische Physiker der Gegenwart bloß ein mehr oder weniger kleines „Rädchen“ im vergleichsweise gigantischen Apparat einer weltumspannenden Forschungs-Industrie.

Dies hat aber auch auf inhaltlicher Ebene bedeutsame Auswirkungen für die Entwicklung von Wissenschaft und Forschung. Es ist nämlich unbestreitbar, dass jegliche gesellschaftliche Formation – also auch die sogenannte wissenschaftliche „Community“ – strukturiert ist und folglich Machtverhältnisse widerspiegelt. Dies war vor 100 Jahren so, und dies ist auch heute so. Da aber heute der erwähnte „Apparat“ ein riesiger ist, ist auch das Ringen um Macht und Einfluss ein viel gewichtigeres. (Man denke nur etwa an die heftigen Diskussionen über die Zukunft der NASA, oder an das zugunsten anderer Projekte verhinderte Milliarden-Projekt eines US-amerikanischen „Super-Colliders“ der Hochenergiephysiker.) Der damit verbundene Machtdiskurs läuft heute natürlich in einem öffentlich-politischen Raum, der sehr stark von der jeweiligen Präsenz der Akteure in den Medien abhängt. Forschungspolitik ist heute auch, und zwar in einem so nie gewesenen Ausmaß, Medienpolitik. In anderen Worten, die Entwicklung der Wissenschaft wird heute, anders als in früheren Jahren, viel weniger von endogenen als von der Wissenschaft äußerlichen Faktoren bestimmt. Die Gefahr dabei ist, dass dem Streben nach einem Mindestmaß an „Objektivität“ immer mehr Partikularinteressen gegenüberstehen. Je stärker der Einfluss der letzteren, um so schlechter steht es um die Wissenschaft, bzw. genauer, um ihren aufklärerischen Auftrag. Das oben genannte Beispiel in der Grundlagendiskussion um die Quantentheorie (vgl. etwa obiges Zitat von John Bell) deutet bereits an, dass Machtdiskurse in den Auslegungen dieser Theorie eine wesentliche Rolle spiel(t)en. (Mehr dazu in [Grössing 2005].)

Auch einige der hier in diesem Beitrag vorgestellten Ideen (Existenz einer Sub-Quanten-Dynamik, bzw. „flüssige“ Raum-Zeit) sind nicht unumstritten. In der Diskussion nach meinem Vortrag hat sich auch ein Kollege mit der Meinung zu Wort gemeldet, dass es sich hierbei um eine „Außenseiterposition“ handle, wobei er vorausschickte, dass man ja eigentlich diese Dinge „nicht in der Öffentlichkeit

aushandeln“ sollte. Zur „Außenseiterposition“ ist aber zu sagen, dass die Forschung immer durch zunächst unorthodoxe Positionen vorangetrieben wird; letztere sind geradezu notwendige Keime für spätere (mögliche) Entwicklungen. Im konkreten Fall lässt sich allerdings leicht belegen, dass diese Position nicht nur die alleinige Auffassung etwa eines Physik-Nobelpreisträgers (Laughlin) widerspiegelt, sondern durchaus bereits breiter vertreten wird (wenn auch nicht in Österreich). Einige Monate nach unserer Klagenfurter Veranstaltung wurde sogar der Titel der angesehenen semi-populären Zeitschrift „Scientific American“ gerade der Theorie einer „flüssigen Raum-Zeit“ bzw. einer neuen Art von „Äther-Theorie“ gewidmet. So exotisch sind diese Vorstellungen also gar nicht mehr! (Bild 9)

Bedenklicher scheint mir nur der Einwand, man möge solche Diskussionen gar nicht in der Öffentlichkeit austragen. Ich gestehe gerne einer derartigen Haltung einen letztlich „aufklärerischen“ Impetus zu – dass gewissermaßen nicht jeder (Laie) mitbestimmen könne, welche wissenschaftlichen Positionen ernst zu nehmen wären. Doch darum geht es ja nicht. Auswirkungen von Forschung und Wissenschaft werden heute in einer breiten Öffentlichkeit diskutiert, und eine allgemeine Skepsis ist ebenso weit verbreitet. In dieser Situation wäre es meines Erachtens ein grober Fehler, wenn sich die Wissenschaftler in ihren „Elfenbeinturm“ zurückzögen und meinten, nur dort sei das aufklärerische Projekt durchführbar. Das mag zwar im engeren Sinn denkbar sein, läuft aber Gefahr, dass bei Kommunikations-Verweigerung der Turm insgesamt von außen, eben von einer unbeteiligten und verständnislosen Öffentlichkeit, zum Einsturz gebracht wird. Ich meine, dass nur eine breite Diskussion über die Fragen der Wissenschaft für eine interessierte Öffentlichkeit dem Projekt der Aufklärung entsprechen kann. Denn heute weiß jedes Kind, dass wissenschaftliche Resultate manipuliert bzw. gefälscht werden, jedenfalls aber Partikularinteressen anheim fallen können. Der aus diesem Wissen resultierenden Wissenschafts-Skepsis kann nicht damit erfolgreich begegnet werden, dass man sich in den jeweiligen „Fachkreisen“ verschanzt und gelegentlich die „erkannten Wahrheiten“ unters Volk bringt, sondern damit, einem demokratischen Verständnis verpflichtet zu bleiben und einem entsprechenden öffentlichen Auftrag Folge zu leisten.

Auch das ist ein *wesentliches* Charakteristikum der Physik zu Beginn des 21. Jahrhunderts: Sie steht vor der Entscheidung, mehr denn je, entweder als Ansammlung von – auf wenige Fragen hin fokussierten – technologischen Großprojekten neben den wirtschaftlich verwertbaren Anwendungen letztlich bloß kurzlebige wie austauschbare Medien-Events beizusteuern, oder dem Projekt eines aufklärerischen Erschließens unseres Naturverständnisses verbunden zu bleiben. Wenn dies als Aussicht gar zu defensiv erscheint, könnte man noch die optimistischere Option hinzufügen, dass einer qualitätsbewussteren Medienpolitik ausgezeichnete technische Einrichtungen zur Verfügung stünden, die zur Umsetzung der Ziele eines breitgefächerten aufklärerischen Projekts bestens geeignet wären.

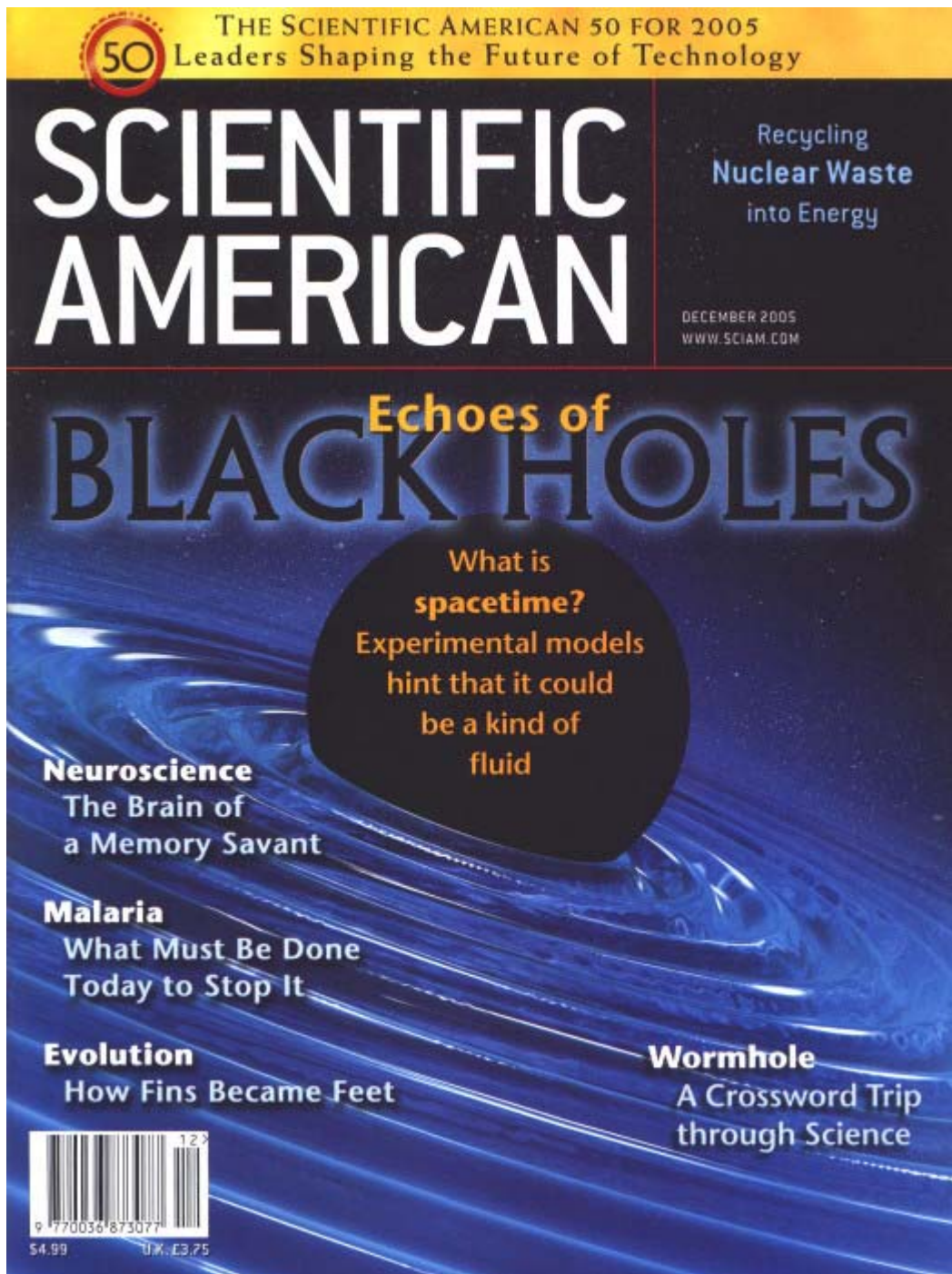


Bild 9: Titelblatt des *Scientific American* vom Dezember 2005 zum Thema einer neuen „Äthertheorie“ bzw. einer „flüssigen Raum-Zeit“.

Literatur:

Anderson, P., "Emerging physics", *Nature* **434**, 701 (2005).

Barrow, J. D., *The Artful Universe*, Oxford 1995.

Bell, J., *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge 1987.

Blumenberg, H., *Die Genesis der kopernikanischen Welt*, Frankfurt 1975.

Grössing, G. (2000), "Wasser als Vor-Bild zur Naturforschung", in: Tagungsband *Wasser*, Schriftenreihe *Forum* der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland Bonn, S. 69 – 81, Köln 2000.

Grössing, G. (2004), "From Hamiltonian Flow to Quantum Theory: Derivation of the Schrödinger Equation", *Foundations of Physics Letters* **17**, 4, 343-362 (2004).
Siehe auch <http://archiv.org/abs/quant-ph/0311109> .

Grössing, G. (2005), "Kontinuum. Die Geschichte einer Verdrängung, mit besonderem Augenmerk auf die Quantentheorie", *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* **16**, 1, 137 – 167 (2005). Siehe auch <http://web.chello.at/ains>.

Hobsbawm, E., *The Age of Extremes: A History of the World, 1914-1991*, London 1994.

Holton, G., *Thematic Origins of Scientific Thought*, Cambridge 1988.

Horgan, J., *The End of Science*, New York 1997.

Laughlin, R. B., *A Different Universe*, New York 2005.

Mocuta, C., Reichert, H., Mecke, K., Dosch, H., and Drakopoulos, M., "Scaling in the Time Domain: Universal Dynamics of Order Fluctuations in Fe₃Al", *Science* **308**, 1287 (2005) Siehe auch *Science online Express Reports*, 21 April 2005
http://www.esrf.fr/NewsAndEvents/PressReleases/Living_metals/

Nelson, E., "Derivation of the Schrödinger Equation from Newtonian Mechanics", *Physical Review* **150**, 1079 (1966). Siehe auch: Nelson, E., *Quantum Fluctuations*, Princeton 1985.

Whittaker, E. T., *A History of the Theories of Aether and Electricity*, London 1951.

Bildquellen:

Bilder 1-4: Nasa (<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod>)

Bild 5: Max-Planck -Institut Garching (www.mpa-garching.mpg.de/galform/press)

Bilder 6-9: Siehe Literaturzitate in den Bildunterschriften