

Peter Ripota präsentiert:

Mythen der Wissenschaft

**Teil 3: Heisenberg und die Folgen
Quantenphysik, Kernforschung**

Quantenphysik: Wer sie versteht, versteht sie nicht

Flüchtige Teilchen & schüchterne Wellen
Von den Wundern der Quanten

Mystische Physik
Die Stunde der Komödianten

Mystik in der Physik
Was vernünftige Menschen alles glauben

Physik ohne Mystik
Wie man auf dem Boden der Wirklichkeit bleibt

Kernforschung: die teuersten Spielzeuge der Welt

Seltsame Materie
Alles Quark oder was?

Gipfelerlebnisse
Wie man durch Zauberei (eventuell) zu einem Nobelpreis kommt

Flüchtige Teilchen & schüchterne Wellen

oder

Von den Wundern der Quanten

*Wer die Quantenphysik versteht, hat sie
nicht verstanden.
Niels Bohr*

Während ich abends sinnierend auf der Terrasse sitze, beobachte ich das faszinierende Treiben der Glühwürmchen. Ich sehe sie ungefähr eine Sekunde lang, dann sind sie wieder für eine Sekunde verschwunden. Mit einiger Mühe kann ich die Bahn eines Würmchens während der Dunkelphase rekonstruieren und manchmal auch vorausberechnen.

Ich bin ein schlechter Quantenphysiker. Denn soeben habe ich Dinge angenommen, die zwar jeder gesunde, normale, vernünftige und mit der Wirklichkeit zurecht kommende Mensch auch akzeptiert, nicht aber ein Quantenphysiker: Ich nahm an, dass die Würmchen in der Zeit, da ich sie nicht sehe, tatsächlich weiter existieren. Und dass sie in dieser Zeit eine eindeutige Flugbahn besitzen. Wie kann ein Mensch nur so verquer denken!

Als echter Quantenphysiker muss ich vielmehr annehmen, dass

(a) die Würmchen keine Bahn besitzen, wenn ich sie nicht sehe, und, als Übersteigerung:

(b) in dieser Zeit gar nicht existieren. Oder, wie es *Albert Einstein* mal ironisch-drastisch ausdrückte:



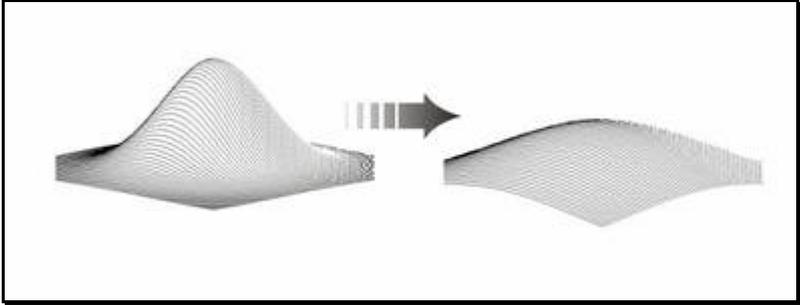
Wenn ich den Mond nicht sehe, dann existiert er auch nicht.

So jedenfalls sah *Niels Bohr* die Sache, der Ober-Guru und selbst ernannte Philosoph der Quantenphysik, vor dem alle in die Knie gingen. Und wenn er wieder eines seiner unsäglichen Bonmots von sich gab (Beispiel: *Das Gegenteil einer großen Wahrheit ist wieder eine große Wahrheit*), dann jubelte die Welt und nahm die Worte dankbar auf. So wie *Friedrich von Weizsäcker*, als er einst Bohr besucht und ihn, wie üblich, nicht verstanden hatte. Anstelle anzunehmen, Bohr, der Papst der Quantenphysik, hätte möglicherweise gar nichts Großartiges geäußert, quälte sich Weizsäcker "in endlosen einsamen Spaziergängen" damit ab herauszufinden, wie jemand denken und argumentieren müsse, um Bohr Recht zu geben. Da hat's die katholische Kirche leichter. Deren Papst ist per Dekret unfehlbar.

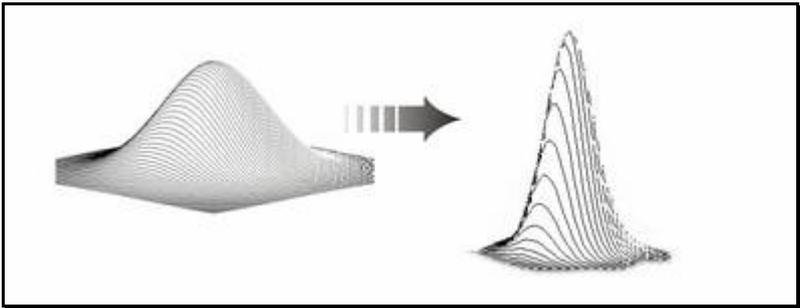
Apropos Kirche: Wir wollten ja von Wundern reden und uns nicht übers Reden wundern. Im Gegensatz zur Katholischen Kirche, die mit der Anerkennung von Wundern sehr zurückhaltend ist, arbeiten die modernen Physiker nämlich ständig mit Dingen, die alle Gesetze der Logik und Kausalität überschreiten, und das jeden Tag. Wie zum Beispiel beim

Wunder der schüchternen Welle

Das Wunder fängt damit an, dass diese Psi-Welle oder Schrödinger-Welle nicht etwa irgendwelche physikalischen Wellen beschreibt, sondern *Wahrscheinlichkeitswellen*. Rein mathematisch können Wahrscheinlichkeiten gar nicht wellen, denn sie sind immer reine Zahlen zwischen 0 und 1. Außerdem - der Äther als Medium ist ja schon kurios genug, aber wie soll das Medium aussehen, in dem sich Wahrscheinlichkeitswellen ausbreiten? Wie soll es überhaupt heißen? (Vorschlag: *Wäther*) Doch das nur nebenbei.



Normaler Vorgang in der Natur: Ein Wellenpaket zerfließt im Lauf der Zeit und wird immer flacher



Seltsame Verhältnisse in der Quantenphysik: Ein Wellenpaket wird durch eine extreme Störung (Beobachtung) steiler, und das auch noch unendlich schnell!

Wellen haben eine einleuchtende Eigenschaft: Beschreibt man sie als Berg, der sich ausbreitet, so wird dieser Berg immer flacher, infolge Reibung und anderen Verlusten. Jede Welle flacht mit der Zeit ab und verschwindet schließlich völlig. Bei den Wellen der Quantenphysik ist es genau umgekehrt: Zu einem bestimmten Zeitpunkt (nämlich bei einer Beobachtung oder Messung) wird die Welle plötzlich gestaucht, und es entsteht ein ganz

scharfer Wellenberg, ähnlich einer Tsunami, die scheinbar aus dem Nichts auftaucht. Mit dem Unterschied, dass die Tsunami-Welle schon vorher in voller Höhe existierte, nämlich unter Wasser, die Psi-Welle dagegen, wie jede normale Welle, immer mehr zerlief. Anschaulich bedeutet diese Stauchung: Die Wahrscheinlichkeit eines Zustand wandelt sich bei einer Beobachtung plötzlich zu einer Sicherheit. Nicht mehr alle Werte sind wahrscheinlich, sondern ein einziger ist sicher - der beobachtete - und alle anderen Werte haben die Wahrscheinlichkeit null.

Diese plötzliche *Reduktion* (Stauchung) ist an sich schon ein Wunder. Worüber die Quantenphysiker jedoch seit nunmehr über 70 Jahren grübeln, ist ihr Zeitpunkt. *John von Neumann*, ein genialer Mathematiker und Quantenphysiker, hat sogar behauptet: Die Reduktion erfolgt erst im Hirn des Menschen, beim Bewusstwerden der Beobachtung. Und das bedeutet: Die Welt existiert nur dann, wenn wir sie bewusst wahrnehmen. Wie gesagt: Wenn wir den Mond nicht anschauen, dann gibt es ihn nicht. So wird jeder Mensch zum Magier, der unliebsame Zeitgenossen einfach verschwinden lässt, indem er sie ignoriert. Wenn's doch nur so funktionieren würde!

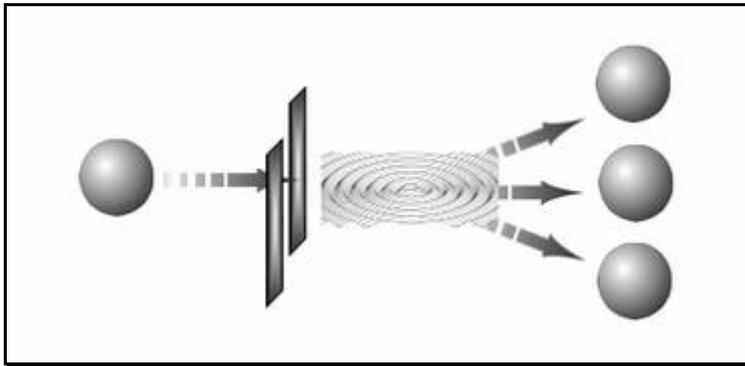
Noch ein Wunder gefällig? Bitte: Hier ist das

Wunder des Elektrons, das mit sich selbst interferiert

Elektronen sind Teilchen, keine Wellen. Interferieren ist ein Ausdruck aus der Physik der Wellen. Tatsächlich haben Elektronen gelegentlich Eigenschaften von Wellen: Sie können sich, wie alle Teilchen, wellenförmig organisieren. Verschiedene Wellen können miteinander in Wechselwirkung treten, einander überlagern, verstärken, auslöschen, was auch immer. Der Fachausdruck dafür lautet *Interferenz*, das zugehörige Verb *interferieren*. Aber ein einzelnes Elektron, das mit sich selbst interferiert? Wie soll es das denn bewerkstelligen?

Schickt man Wasser oder Licht - oder Elektronen, die sich manchmal wellenförmig verhalten - durch einen schmalen Spalt,

dann erscheinen auf einer Wand dahinter charakteristische Beugungsmuster, die jeder in der Badewanne beobachten kann. Aber erst bei zwei Spalten überlagern sich die Wellen, und es entstehen sogenannte Interferenzmuster. Soweit ist alles klassisch.

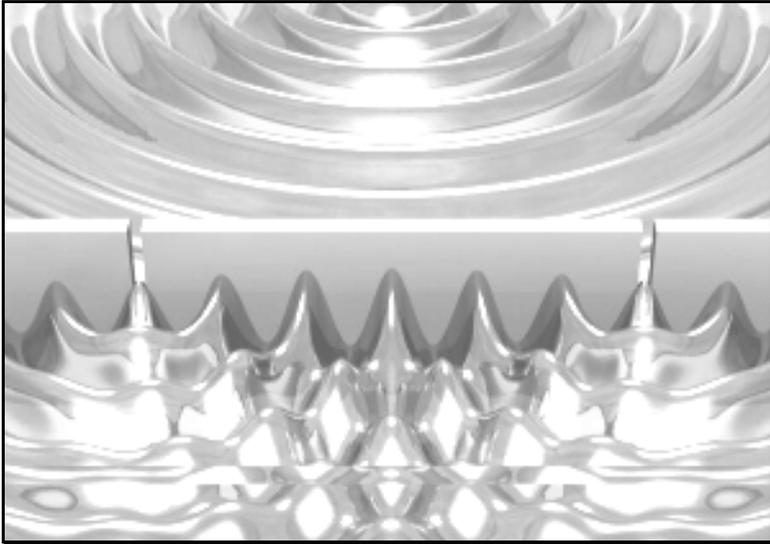


Nach den Vorstellungen der Quantenphysiker verwandelt sich ein einzelnes Elektron nach Passieren eines Spalts in eine Welle, die durch Interferenz mit sich selbst Beugungsmuster erzeugt und somit viele Elektronen hervorbringt - aber nur dann, wenn von zwei Spalten beide offen sind!

Inzwischen ist man aber so weit, dass man einzelne Elektronen erzeugen und durch die Spalten schicken kann. Wieder entstehen die charakteristischen Beugungs- oder Interferenzmuster - aber, so die Frage: *Wer interferiert denn nun mit wem?* Es gibt ja nur ein einziges Teilchen. Und wie kann dieses Teilchen mit sich selbst - ? Weil es eine Welle ist, behaupten die Quantenphysiker. Das verlangt allerdings ziemlich viel Intelligenz von dem kleinen Zwerg. Denn das Teilchen ist erst ein Teilchen, so wird es ja erzeugt. Kommt es an die Spalten, schaut es nach, ob einer oder zwei vorhanden sind. Flugs verwandelt es sich in eine Welle, *aber nur bei zwei Spalten!* - und wandert dann wieder als Teilchen weiter. Ganz schön clever, der kleine Bengel.

Und hier das dritte Wunder: der

Tunneleffekt



Manche Energiebarrieren sind zu hoch, als dass sie von gewöhnlichen Teilchen überwunden werden können. Dennoch schaffen es einige, entgegen dem Energie-Erhaltungsprinzip. Die Physiker erklären den verbotenen Sprung formal damit, dass sich Teilchen Energie "borgen" (auf Kosten der Zeit), und anschaulich dadurch, dass sich das Teilchen einen Tunnel durch die Schranke gräbt und durch diesen Tunnel entschlüpft. Klingt alles sehr menschlich, aber wo bleibt die Physik?

Doch vielleicht ist die Sache ja ganz anders. Aber erst schauen wir uns im nächsten Kapitel an, wie alles gekommen ist - und warum die Quantenphysik mehr einer mystischen Religion ähnelt als einer nüchternen Wissenschaft.

Mystische Physik

oder

Die Stunde der Komödianten

Ein feiner Kopf aus der Zeit des Archimedes würde nach gründlichem Studium der modernen theoretischen Physik versichert haben, es sei ihm unbegreiflich, wie jemand so willkürliche, groteske und verworrene Vorstellungen als Wissenschaft und noch dazu als notwendige Folgerungen aus den vorliegenden Tatsachen ansprechen könne.
Oswald Spengler: Der Untergang des Abendlands
(1923)

In der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg, nach der Zerstörung aller Werte, suchten die Menschen verzweifelt nach Vorbildern. Besonders die Männer brauchten einen Übervater. Im Bereich der Politik wurde dies ein rabiater Massenmörder mit scharfem Schnurrbart. Im Bereich der Wissenschaft war es ein freundlicher Gelehrter mit wirrem Haarschopf. Und dessen Aufgabe bestand darin, sich jeden Tag eine neue, völlig verrückte Sache auszudenken - so wie die Weiße Königin in "Alice hinter den Spiegeln". Als die kleine Alice meint: "Etwas Unmögliches kann man nicht glauben." erwidert ihr die Weiße Königin: "In deinem Alter habe ich täglich eine halbe Stunde darauf verwendet. Zuzeiten habe ich vor dem Frühstück bereits bis zu sechs unmögliche Dinge geglaubt." Und wenn die Idee nicht verrückt genug war, dann sollte es zumindest die verwendete Mathematik sein. So entstanden die Relativitätstheorien des besagten Herrn mit dem Haarschopf, so entstand aber auch ein Großteil der Quantenphysik. Stellen wir also die *Handelnden Personen* dieses noch nicht beendeten Dramas vor!

Albert Einstein (1895 - 1955; Nobelpreis 1921)

Zwar begann die Quantenphysik mit einer Entdeckung von *Max Planck*, doch verdankt sie ihre Entwicklung, ihre Denkanstöße und ihre Art, Probleme mathematisch und geistig zu behandeln, dem "Mann des Jahrhunderts". Einstein trieb die frühe Geschichte der Quantenphysik voran, indem er den Ausdruck "Quantum" oder "Quant" dank seiner Autorität hoffähig machte und eine anschauliche Deutung fand: Licht besteht aus Teilchen, also aus Quanten. Mit seiner unkonventionellen Art im Umgang mit physikalischen Begriffen und mit seiner rigorosen Unterwerfung der Physik unter das Diktat selbstgewählter mathematischer Formeln wurde er zum Vorbild vor allem für *Heisenberg*, aber auch für Schrödinger. In den ersten beiden Jahrzehnten der Geschichte der Quantenphysik leistete er wesentliche Beiträge (für einen davon, den fotoelektrischen Effekt, erhielt er auch den Nobelpreis). Mit *Bohr* lieferte er sich schriftlich, aber auch auf Konferenzen, spannende intellektuelle Duelle durch immer neues Ersinnen ausgefeilter Gedankenexperimente, welche die Auffassung des geistigen Gegners zu Fall bringen sollten.

Auf Einstein gehen unter anderem folgende Ideen zurück:

- Quanten sind Lichtteilchen (Fotonen).
- Die Intensität von Licht kann als Wahrscheinlichkeit gedeutet werden, an dieser Stelle Lichtteilchen vorzufinden. Daraus entwickelten *Born*, *Jordan*, *Heisenberg* und andere die Idee der Wahrscheinlichkeitswellen.
- Das elektromagnetische Feld, das einen Lichtstrahl begleitet, nannte er "Geisterfeld". Daraus entstand die Idee eines "Führungsfelds" (*de Broglie*, *Bohm*).
- Die Anwendung klassischer Vorstellungen auf Vorgänge in der Mikrophysik hat Einstein als erster und ausdrücklich eingeführt.

Bohr war davon so begeistert, dass er das Prinzip übernahm und es *Korrespondenzprinzip* nannte.

- Er deckte auf, dass die Quantenphysik Verbindungen zulässt, die augenblicklich erfolgen (*spukhafte Fernwirkungen*), was allen bisherigen Vorstellungen (und insbesondere seiner eigenen speziellen Relativitätstheorie) widersprach ("Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxon", 1935). Später entwickelte daraus *John Bell* seine berühmte "Ungleichung", mit der ebendiese Verbindung getestet werden könnte. *Alain Aspect* führte diesen Test dann tatsächlich durch (siehe weiter unten).

- Er forderte immer wieder eine *kausale Quantenphysik*, die *David Bohm* und *James Paul Wesley* dann tatsächlich erreichten.

Lassen wir den stillen Gelehrten wieder in seinem Elfenbeinturm die Alchemie der Natur in Formeln fassen! Bitten wir nun den Begründer der Quantenphysik auf die Bühne:

Max Planck (1858 - 1947; Nobelpreis 1918)

Alles begann mit den Gesetzen der *Strahlung*: Wieviel Energie enthält ein Körper einer bestimmten Temperatur, der Strahlung mit der Frequenz ν ("ny") aussendet? *Willy Wien* fand 1894 das nach ihm benannte Gesetz, aber es galt nur für hohe Frequenzen (Licht, UV). *Baron Rayleigh* und *James Jeans* fanden 1900 das nach ihnen benannte Gesetz, aber es galt nur für niedere Frequenzen (Radiowellen). *Max Planck* suchte nach einer Interpolationsformel, also nach einem mathematischen Ausdruck, der auch den Zwischenbereich zwischen Wien und Rayleigh/Jeans korrekt abdeckt und die beiden Formeln in eine einzige zusammenfasst. Durch Umformung der beiden Strahlungsgesetze in eine mathematisch einfachere Form gelang ihm dies ohne Probleme. Sowa gehört schließlich zum täglichen Brot eines Physikers. Planck selbst nannte seine Formel - heute bekannt als "Plancksches Strahlungsgesetz" - eine *glücklich erratene Interpolationsformel*.

Soweit, so gut. Als Physiker musste Planck aber nun seine Formel auch rechtfertigen. Damals (um 1900) war es nämlich noch üblich, anschauliche Begründungen für physikalische Formeln zu finden. Auch kein Problem: Das große Vorbild der damaligen Zeit war der österreichische Physiker *Ludwig Boltzmann*, der mit Hilfe der Atomvorstellung durch statistische Überlegungen die Gesetze der Wärmelehre ableiten konnte. Atome oder Moleküle als letzte Bestandteile der Materie waren schon von den alten Griechen eingeführt worden. Sie entsprechen am ehesten unserer Vorstellung von den letzten Bestandteilen der Materie, sind begrifflich und mathematisch einfach zu handhaben und bringen keine Paradoxien und Widersprüche wie Felder, Äther oder gekrümmte Räume. So versuchte Planck eine Veranschaulichung der Vorgänge innerhalb eines Lichtstrahls als Analogie zu den Vorgängen innerhalb eines Gases.

Ein Gas besteht aus unteilbaren Molekülen oder Atomen. Ein Lichtstrahl müsste demnach als eine Art "Lichtgas" ebenfalls aus irgendwelchen letzten Bestandteilen aufgebaut sein. Diese unteilbaren Teile nennen wir heute Quanten. Aber was sind diese Quanten? Planck vermutete Energie-Pakete, die bei Absorption und Emission von Strahlung in bestimmten, genormten Größen übergeben werden. Diese Auffassung - sie stammt übrigens von Boltzmann! - wird heute noch vertreten, doch Einstein brachte eine neue Idee ein: Quanten sind die kleinsten Teilchen des Lichts (sie wurden 1926 "Fotonen" genannt), und auch diese Auffassung ist heute noch üblich. Der Begriff "Quant" ist also keineswegs klar - und wird auch noch in anderen Bedeutungen verwendet.

Mit seinem Vortrag am 14. Dezember 1900, wo Planck seine Formel der Öffentlichkeit vorstellte, leitete er das Zeitalter der Quantenphysik ein - und trat selbst von der Bühne ab. Fortan beschränkte er sich darauf, andere Wissenschaftler zu fördern, insbesondere Albert Einstein. Besonders glücklich ist er über seine physikalische Interpretation nie gewesen. Noch 1931 schrieb er an einen Freund:

Es war ein Akt der Verzweiflung, weil eine theoretische Erklärung um jeden Preis gefunden werden musste.

So wird es Zeit für den Auftritt der nächsten Hauptperson:

Niels Bohr (1885 - 1962; Nobelpreis 1922)

Niemand hat die Philosophie der Quantenphysik so entscheidend geprägt wie der sanftmütige und wohlherzogene Däne, der manchmal so rabiater werden konnte wie ein Sektenführer - als der er auch von seinen Anbetern betrachtet wurde. So wie es ein "Augsburger Bekenntnis" für die Lutheraner gibt, so gibt es auch eine *Kopenhagener Deutung der Quantenphysik*, benannt nach dem Wohnort von Bohr. Die nach dieser Deutung betriebene Quantenphysik heißt noch dazu *orthodox*, ein Ausdruck, den wir sonst nur aus der Theologie kennen. Denn "orthodox" bedeutet "richtig" oder "vom Papst genehmigt" - und der Papst war in diesem Fall Bohr. Aber auch der Begriff "Deutung" hat in der Physik gar nichts zu suchen. Er wird ebenfalls in der Theologie verwendet, wenn es darum geht, die verschwommenen Worte des Meisters auf eine konkrete Situation anzuwenden. Hier war es genauso; siehe unseren Exkurs über Herrn von Weizsäcker, der vergeblich darüber grübelt, was die Worte seines Meisters wirklich bedeuten könnten.

Doch zunächst waren Bohrs Beiträge sehr konstruktiv. Die Aufmerksamkeit der Forscher richtete sich inzwischen auf jenen Bereich, in dem die Vorgänge bei Absorption und Emission von Licht recht exakt studiert werden konnten: auf die Analyse von Spektren. Seitdem *Kirchhoff* und *Fraunhofer* entdeckt hatten, dass jeder Stoff ganz charakteristische Farben - schmale Farbstreifen innerhalb eines Farbbands - aussendet und diese *Spektrallinien* sich unter bestimmten Umständen auch veränderten, glaubte man, den Schlüssel zum Geheimnis der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie in ebendiesen Spektren gefunden zu haben.

Bohr entwarf ein Modell, das auch heute noch verwendet wird und sich als außerordentlich nützlich erwies: Er übertrug die Verhältnisse des Sonnensystems auf die Zustände in einem Atom. Jeder kennt das Modell: Um einen aus Protonen und Neutronen bestehenden Kern kreisen Elektronen auf kreisförmigen Bahnen. Es waren allerdings nur bestimmte Bahnen erlaubt; nur in denen blieben die Elektronen stabil. Warum es bevorzugte Bahnen gab, blieb den Quantenphysikern ein Geheimnis - dabei hätten sie nur die Astronomen fragen müssen, denn die kennen das Phänomen aus der Himmelsmechanik. Doch das nur nebenbei.

Trifft ein Lichtstrahl der richtigen Energie = Frequenz (also Farbe) auf das Atom, hebt seine Energie das Elektron auf eine höhere Bahn, von wo aus es ziemlich schnell wieder zurück springt und das empfangene Licht wieder aussendet - möglicherweise leicht verändert. Das ist der berühmte Quantensprung. So konnten die Spektren vieler Stoffe erklärt werden. Eine kleine Verfeinerung des Modells durch *Arnold Sommerfeld* - er führte, wie auch im Planetensystem, elliptische Bahnen ein - konnte auch den Rest der Beobachtungen sehr gut mathematisch erklären. Soweit ging alles gut.

Doch Bohr war ein Anhänger des Philosophen *Søren Kierkegaard*, dessen Ideen er durch seinen Freund *Høffding* kennen lernte. Kierkegaard und andere Existentialisten waren der Meinung:

- Erkennendes Subjekt und existierendes Objekt sind nicht trennbar.
- Die Welt wird vom Zufall beherrscht.
- Die Wirklichkeit ist letzten Endes nicht erkennbar.
- Alles geschieht sprunghaft.
- Eine strikte Kausalität gibt es nicht.

Wirklich erstaunlich - alle diese Ideen finden sich unverändert in der "Kopenhagener Deutung" der orthodoxen Quantenphysik (OQP) wieder. Bohr hatte ganze Arbeit geleistet. Allerdings, die

existentialistischen Gedanken entsprachen dem Zeitgeist. In dieser oder jener Form finden wir sie beispielsweise auch

- bei dem amerikanischen Philosophen und Psychologen *William James*, der den Begriff *Komplementarität* prägte. Bei ihm war es der Zustand eines durch Hypnose gespaltenen Bewusstseins, bei Bohr wurde daraus eine Spaltung der Welt in Beobachter und Welt, in Welle und Teilchen.

- bei dem Philosophen und Mathematiker *Charles Sanders Peirce*, der die Philosophie des "Tychismus" erfand: Das Universum wird vom Zufall (gr. = tyche) beherrscht.

- bei dem deutschen Physiker, Physiologen und Esoteriker *Friedrich Exner*, der jedwede Kausalität im Bereich des Mikrokosmos ablehnte und einem unbeschränkten "Indeterminismus" frönte: Alles ist unbestimmt und damit selbstverständlich auch unbestimmbar.

Mehr noch: Auch die Sprache des Existentialismus, besonders schön zu studieren bei *Heidegger*, färbte auf Bohr ab - oder war es umgekehrt? Einerlei, hier eine Kostprobe aus einer Entgegnung zu Einwänden gegen die Quantenphysik durch Einstein, Podolsky und Rosen:

Zu diesem Zeitpunkt erhebt sich im wesentlichen die Frage nach dem Einfluss gerade derjenigen Bedingungen, welche die möglichen Voraussagetypen des zukünftigen Verhältnisses des Systems betreffen. Da jene Bedingungen ein der Beschreibung jeglicher Phänomene, auf die der Terminus "physikalische Realität" im eigentlichen Sinne zugeschrieben werden kann, inhärentes Element darstellen, sehen wir, dass die Argumentation der erwähnten Autoren, dass die quantenmechanische Beschreibung unvollständig sei, ihre Folgerung nicht rechtfertigt. Im Gegenteil kann diese Beschreibung, wie aus der vorherigen Diskussion folgt, als rationale Benutzung aller Möglichkeiten einer eindeutigen Interpretation der Messresultate charakterisiert werden, vereinbar mit der endlichen und unkontrollierbaren Wechselwirkung zwischen den

Objekten und den Messapparaten auf dem Gebiet der Quantentheorie.

Doch auch andere Physiker wie beispielsweise *Louis de Broglie* (Quantenphysik) und *Henri Poincaré* (Relativitätstheorie) lehnten die Kausalität, Grundlage einer jeden rationalen Naturbeschreibung, explizit ab. Nihilismus und Anarchie lagen in der Luft - und diese Ideen waren so stark, dass selbst die Autorität eines Albert Einstein in späteren Jahren vergeblich dagegen ankämpfte.

Mit der Konzeption seines Atommodells waren Bohrs theoretische Beiträge zur Entwicklung der Quantenphysik abgeschlossen. Noch einmal trat er mit einer Theorie an die Öffentlichkeit, die er zusammen mit *Slater* und *Kramers* 1924 veröffentlichte, und die sich kurz danach als falsch erwies (durch Experimente von *Bothe* und *Geiger* widerlegt wurde). Doch die Ideen dieser Theorie blieben erhalten und fanden später Eingang in die OQP. Bohr, Kramers und Slater postulierten unter anderem:

- Die grundlegendsten Prinzipien der Physik, Erhaltung des Moments und der Energie, gelten nicht mehr.
- Eine kausale Erklärung der Naturvorgänge, wie sie die klassische Physik anbietet (und fordert), wird strikt abgelehnt.
- Die Naturvorgänge im Innern der Atome werden von "virtuellen" Feldern beherrscht. Später wurden daraus "Wahrscheinlichkeitsfelder". Diese Felder erlauben eine augenblickliche Kommunikation der physikalischen Teilchen ohne Zeitverzögerung über beliebige Entfernungen hinweg.

Bohr hatte mit der höheren Mathematik, wie sie sich nun zunehmend durchsetze, ohnedies nichts im Sinn. Der SPIEGEL hat seine mathematischen Kenntnisse einst in seiner üblichen zynischen Art so charakterisiert:

Er kannte nur zwei mathematische Symbole: Das eine war "ungefähr gleich", das andere "wesentlich größer als".

Doch gerade durch die Konzentration nicht auf Zauberformeln, sondern auf eine anschauliche und verständliche Wirklichkeit, war Bohr beinahe der einzige sinnvolle und realitätsnahe Beitrag zur QP gelungen.

Es wird Zeit für den Auftritt eines neuen Helden. Diesmal ist es wieder ein Deutscher mit der für sein Volk so charakteristischen unsicheren Gründlichkeit:

Werner Heisenberg (1901 - 1976; Nobelpreis 1932)

Heisenberg hatte zwei Vorbilder: Der österreichische Philosoph *Ludwig Wittgenstein* hatte, wie auch der Physiker und Philosoph *Ernst Mach* und andere Anhänger des "Wiener Kreises", die Beschränkung auf beobachtbare Dinge gefordert. Das wären in diesem Fall Spektren. Und der deutsche Physiker *Albert Einstein* hatte sich durch Ideen ausgezeichnet, die immer fantastischer und realitätsferner wurden. Das gefiel Heisenberg, der offenbar seinen eigenen hohen Ansprüchen nie gerecht werden konnte.

Spektren sind, wie der Wissenschaftler sagt, *diskrete* Eigenschaften, womit nicht gemeint ist, dass sie sich verstecken. Das Wort kommt vielmehr vom lateinischen "discernere", was "unterscheiden" bedeutet. Das Gegenteil von "diskret" ist "kontinuierlich" oder "stetig". Stetige Naturvorgänge wie z.B. Bewegungen von Teilchen entlang von Bahnen werden durch Differenzialgleichungen oder auch durch gewöhnliche mathematische Funktionen beschrieben. Zur Beschreibung unsteter, also diskreter Eigenschaften eignen sich Zahlenschematas, die der Mathematiker *Matrizen* nennt. Durch mathematische Analysen gelangte Heisenberg also zu einer Beschreibung der Natur mittels Matrizen. Allerdings haben Matrizen einen Nachteil: Bei ihrer Multiplikation kommt es auf die Reihenfolge der Matrizen an, $A \times B$ ist also nicht gleich $B \times A$.

Wieder erscheint das Problem: Was bedeutet dieser mathematische Sachverhalt in der Wirklichkeit? Interpretiert man die Matricelemente als *Messungen*, dann heißt dies: Die Reihenfolge ei-

ner Messung ist wichtig. Ob ich erst die Temperatur und dann das Gewicht bestimme, kann möglicherweise andere Werte liefern, als wenn ich den Stoff erst wiege und dann mit dem Thermometer messe. Aber warum?

Heisenberg kam die Idee, diese Nicht-Vertauschbarkeit zweier Messungen als *Unschärfe* zu deuten. Dabei stützte er sich nicht etwa auf Experimente oder Beobachtungen - die widersprachen eindeutig solchen Deutungen - , sondern auf einen mathematischen Formalismus, den zuvor *Born*, *Jordan* und *Dirac* ausgearbeitet hatten. Heisenbergs Interpretation von 1926 war keineswegs zwingend. Schon 1929 wies der heute unbekannte *E.U. London* darauf hin, dass Heisenbergs Unschärfe für die vertikale Komponente des Drehimpulses nicht gilt - also auf keinen Fall allgemein. Und Experimente aus der damaligen Zeit, vor allem von *Bothe* und *Geiger* sowie *Compton* und *Simon* zeigten, dass Elektronenbahnen eindeutig bestimmbar sind. Meine Glühwürmchen leben also doch, während sie nicht leuchten.

Der Philosoph *Karl Popper* hat Heisenbergs Idee sarkastisch so beschrieben:

Heisenberg versuchte, eine kausale Erklärung dafür zu geben, dass es keine Kausalität gibt.

Doch es half nichts. A-Kausalität, Unbestimmtheit und ähnlich verwaschenes Zeug entsprach dem Zeitgeist. *Arthur Eddington*, dessen Betrügereien wir im Einstein-Teil geschildert haben, verstieg sich sogar zu der Behauptung, die Heisenbergsche Unschärfereferlation erweise den Freien Willen. Und so setzte sich die Idee einer "unscharfen", sprich: *unbestimmten* Natur ganz langsam durch - mit tatkräftiger Unterstützung der regierenden Köpfe. Die erließen eine Reihe immer skurrilerer Gebote und Verbote, etwa so:

Damit Unsere einzig wahre, also orthodoxe Version der Quantenphysik von nun an bis in alle Ewigkeit Gültigkeit hat, ist es fürderhin verboten, scharfe Messungen von Ort oder Impuls eines

*Teilchens vorzunehmen. Um dies auch sicher zu stellen, hat eine Messung nur **im ganzen Raume** zu erfolgen, wodurch Ort oder Impuls automatisch der größtmöglichen Unbestimmtheit anteilig werden. Fernerhin dürfe in Zukunft keine einzelne Messung mehr gelten; nur **statistische Durchschnittswerte** dürfen Eingang finden in das erhabene Buch der Messungen.*

So oder so ähnlich könnten der Papst oder sein Groß-Inquisitor ein entsprechendes Dekret verfassen. Ihre Pendanten der "Orthodoxen Kirche der Quantenphysik" haben sich ein ganz klein wenig anders ausgedrückt - aber nicht sehr. Hier einige Gedanken von Heisenberg, die ihm bei einem nächtlichen Spaziergang durch Kopenhagen, also der Wohnstätte des Papstes der OQP, 1927 kamen:

Mir kam der Gedanke, dass man einfach postulieren dürfte, die Natur ließe nur solche experimentelle Situationen zu, die auch im mathematischen Schema der Quantentheorie beschrieben werden können.

Haben Sie's mitgekriegt? Heisenberg meinte nicht, die Quantenphysik sei so formuliert, dass gewisse Dinge unbeobachtbar bleiben. Heisenberg meinte vielmehr: Die Natur hält sich an meine Formeln und bleibt deshalb unbestimmt! Noch krasser:

...könnte man zu der Vermutung verleitet werden, dass sich hinter der wahrgenommenen statistischen Welt noch eine 'wirkliche' Welt verberge, in der das Kausalgesetz gilt. Aber solche Spekulationen scheinen uns, das betonen wir ausdrücklich, unfruchtbar und sinnlos.

Denn:

Ein geschlossenes System ist objektiv, aber nicht real, und die Idee eines "objektiven realen Dings" muss aufgegeben werden.

Die Welt als Wille und Vorstellung, aber nicht als Realität - und das soll Physik sein! Zurück zur Unschärferelation, die wenigstens noch eine reale Welt voraussetzt. Hier gilt: Die Welt muss

unbestimmt bleiben, weil meine Formeln das so sagen. Da half auch nichts mehr, dass der bedeutende Mathematiker und Physiker *P.A.M. Dirac* 1963 einige kleine Zweifel äußerte:

Ich denke, man kann als sicher annehmen, dass die Unbestimmtheitsbeziehungen in ihrer gegenwärtigen Form die Physik der Zukunft nicht überleben werden.

Auch Einstein empfand das Treiben der Orthodoxen als Religion. In einem Brief an Schrödinger (1928) bezeichnete er sie als *Heisenberg-Bohr'sche Beruhigungsphilosophie - oder Religion?* Im übrigen listet *James Paul Wesley*, unermüdlicher Kritiker der OQP, in seinem Buch "Classical Quantum Theory" mehrere fast alltägliche Fälle auf, wo die Unbestimmtheit um mehrere Zehnerpotenzen nicht erfüllt ist, beispielsweise bei einem Walkman, beim Rastertunnelelektronenmikroskop, bei einem Foton in einer lebenden Zelle, und beim Elektron in einem Wasserstoffatom . Und selbst die orthodoxe Wissenschaftszeitschrift NATURE muss in einem Artikel von *Ahmed H. Zewail* (siehe Literatur) zugeben:

Das Gespenst (!) der Quanten-Unschärfe könnte uns den Weg zu neuen Entdeckungen verstellen.

Wie wahr!

Verlassen wir nun die zwielichtigen Gesellen und widmen uns einer Lichtgestalt, einem Mann, der sich nicht um jeden Preis durch besonders originelle (sprich: unsinnige) Gedanken wichtig machen musste. Auftritt

Erwin Schrödinger (1887 - 1961; Nobelpreis 1933)

Schrödinger war ein Klassiker der Physik, sprich: Er wollte physikalische Vorgänge so beschreiben, wie es schon immer geschah: durch stetige Funktionen. Mit denen kann man durchaus auch einzelne Punkte hervorheben. Beispiel: Die Sinus-Funktion ordnet, wie jede stetige Funktion, jedem Punkt auf der x-Achse einen Punkt auf der y-Achse zu. Einzelne Punkte sind allerdings etwas

Besonderes, beispielsweise die Nullpunkte, also jene Punkte, wo die Kurve die x-Achse schneidet.

Um nun die Energie-Nivos eines Stoffes berechnen zu können, verwendete Schrödinger eine Funktion, mit deren Hilfe spezielle Werte hervorgehoben werden konnten. "Quantensprünge" und ähnlicher Kram waren ihm verhasst. Die nach ihm benannte *Schrödingersche Wellenfunktion* beschreibt zwar keine Welle, sondern nur eine Strömung, doch die Energiezustände zumindest des Wasserstoff-Atoms kamen korrekt heraus. Wobei sich allerdings wieder das alte Problem ergab: Was bedeutet eigentlich die in der Gleichung vorkommende Größe ψ ("psi")? Schrödinger meinte, ψ wäre so was Ähnliches wie ein elektromagnetisches Feld, aber das erwies sich bald als Irrtum. Die orthodoxen Quantenpriester fanden bald eine Interpretation: ψ ist eine *Wahrscheinlichkeitswelle*, was immer das auch sein soll. Den Begriff hatte Einstein vorweg genommen. Bei ihm war das Quadrat der Amplitude, also die Intensität, zugleich die Wahrscheinlichkeit, dort ein Lichtteilchen vorzufinden. Das leuchtet ein: Je größer die Licht-Intensität, desto eher findet sich dort auch Licht. Nur: Einstein hatte dieser Intensität keine Wellen-Eigenschaften zugeschrieben. Auch heute noch quälen sich Quantenphysiker (und vor allem Studenten) mit der Deutung dieser Pseudowelle ab.

Schrödinger ließ sich auch vom Geschwafel des QP-Papstes Bohr nicht beeindrucken. Indes, der war ganz schön hartnäckig. Als Schrödinger einst den Papst in seinem Domizil in Kopenhagen besuchte - er war eigentlich dorthin beordert worden -, versuchte dieser mit aller Macht, seinen Gast zur einzig wahren, eben "orthodoxen" Meinung zu bekehren. So sehr bedrängte der Papst der Quantenphysik den Abtrünnigen, dass dieser krank wurde. Doch darauf nahm Bohr keine Rücksicht: Er saß am Bett des verschnupften Schrödinger und bedrängte ihn mit seinem Gefasel, wobei jeder Satz mit den Worten begann: "Aber Schrödinger, Sie müssen doch zugeben dass -". Schrödinger gab nichts zu, hielt

sich aber aus dem pseudofilosophischen Gebrabbel in Zukunft heraus. Bohr hatte wieder mal gesiegt, die Orthodoxie war gerettet.

Die letzten Personen unseres kleinen Dramas sind eher tragische Gestalten, der erste ein Märtyrer, der ins Exil flüchten musste, der zweite ein Betrüger, der die Daten seines "Jahrhundert-Experiments" fälschte. Der Märtyrer heißt

David Bohm (1917 - 1992)

Bereits 1927 hatte *Louis de Broglie*, der Entdecker der Welleneigenschaften von Elektronen, eine streng kausale Quantenphysik vorgeschlagen. Die Welt sollte nur aus Teilchen bestehen, die von einer "Führungs- oder Pilotwelle" gelenkt werden. Niemand hörte auf ihn. 27 Jahre später widerfuhr David Bohm das gleiche Schicksal. Dabei tat er nichts Neues. Er zerlegte nur die Schrödingerfunktion mit ihren imaginären Zahlen in zwei reale Teile. So verfahren alle anständigen Physiker (siehe unseren Beitrag im Einstein-Teil), doch bisher hatte das niemand getan. Heraus kamen zwei Gleichungen. Die eine war eine *Kontinuitätsgleichung*. Sie besagte nur, dass Materie + Energie weder vernichtet noch erzeugt werden können. Die zweite enthielt Teilchen und deren Bahnen, die von einer speziellen Kraft (?) gelenkt wurden. Mathematisch war es ein *Potential*, dessen Stärke mit der Entfernung nicht abnahm. So wurden augenblickliche Impuls- oder Informationsübertragungen möglich, welche auch die orthodoxe Quantenphysik stets angenommen hatte, denn die ergaben sich allein aus der Schrödingerfunktion.

Damit hatte Bohm 1952 eine rein kausale, nach klassischen Theorien orientierte Quantenphysik geschaffen, die ohne Mystifizierung auskam. In ihr gab es Teilchen, feste Bahnen, strenge Kausalität und eine Art "Führung" durch ein spezielles Potential, welches die Bewegung von Teilchen auch als Welle organisierte. Das war alles.

Zu viel für die Priester der Orthodoxität. Denn die reagierten auf Bohms Theorie äußerst heftig, irrational und grundlos emotional (Attribute, die ihre Theorie auch gut beschreiben). Oder sie leugneten die Bohmsche Theorie wider besseres Wissen. Hier einige Beispiele:

- *John von Neumann*, der Mathematiker, der beweisen hatte, dass eine Theorie a la Bohm gar nicht möglich ist, schwieg vornehm. Vermutlich war er von seinem fehlerhaften Beweis immer noch überzeugt.

- *Bohr* nannte Bohms Theorie "nährisch". Als der Physiker Ernest J. Sternglass Bohr besuchte und mit ihm die Bohmsche Theorie diskutieren wollte, wunderte er sich über die gefühlsmäßig heftige Reaktion seines Gastgebers:

Es war mir peinlich. Die Heftigkeit dieses ansonsten so sanften und freundlichen Mannes überraschte mich wirklich. Bohr erschien mir in diesem Augenblick wie ein fanatischer fundamentalistischer Priester, intensiv darum bemüht, meine Seele vor der Verderbnis zu retten.

- *Pauli* und *Heisenberg* beschimpften Bohms Theorie als "metaphysisch" und "ideologisch". Ausgerechnet die beiden Anhänger und Propagatoren ihrer "Unschärfe" des eigenen Denkens, das sie auf die Natur projizierten! Sachliche Argumente gab es von ihrer Seite keine.

- *Richard Feynman*, bekannt durch seine grafische Veranschaulichung bestimmter Aspekte der Teilchenphysik, erzählte noch 20 Jahre nach Publikation der Bohmschen Theorie seinen Schülern voll wütender Ignoranz:

Wie funktioniert (der für die Quantenphysik wichtige) "Doppelspaltversuch" wirklich? Niemand kennt irgendeinen Mechanismus. Niemand kann eine tiefere Erklärung dieses Phänomens anbieten außer einer einfachen Beschreibung.

Dabei war genau dies Bohms großes Verdienst gewesen: Er hatte den uralten Konflikt zwischen Welle und Teilchen gelöst, den "Welle-Teilchen-Dualismus" entmystifiziert, auf physikalisch einsichtige und einfach erklärbare Weise. Kein Wunder, dass Feynman in seiner Autobiografie mit gewissem Stolz von sich erzählt:

John von Neumann hat mir etwas wirklich Interessantes beigebracht: dass man sich für die Welt, in der man lebt, nicht verantwortlich zu fühlen braucht. In der Folge entwickelte ich eine ausgeprägte Verantwortungslosigkeit in gesellschaftlicher Hinsicht.

Deswegen beteiligte sich Feynman an der Entwicklung der Atombombe, und als die Männer vom erfolgreichen Abwurf auf Hiroshima mit Millionen Toten und Hunderttausenden Leidenden hörten, da feierten sie ihren Erfolg mit einem gemeinsamen Besäufnis.

Noch zwei Kommentare:

- *Robert Oppenheimer*, der Vater der Atombombe und Doktorvater Bohms, nannte die These seines ihm Anvertrauten "jugendliches Abwechertum", und er riet den anderen Physikern, die Theorie zu ignorieren (was diese auch ohne Oppenheimers guten Ratschlag taten). Schließlich

- *Albert Einstein*, der jahrzehntelang genau für das gekämpft hatte, was Bohm nun lieferte: eine kausale, mythenfrei Quantenphysik. Einsteins Reaktion:

zu billig

Nicht nur, dass Bohm ignoriert wurde, er wurde auch noch aus seinem Heimatland vertrieben. Sein Doktorvater Oppenheimer schwärzte ihn beim FBI als "linken Abweichler" an, und Bohm musste die USA verlassen. Er fand ein Domizil in Brasilien, dann in Israel, zuletzt in England. Seine mystischen Interessen brachten ihn in Kontakt (und später in Konflikt) mit dem indischen Religionsphilosophen *Krishnamurti*. Kurz vor seinem Tod erlebte Bohm

eine gewisse Anerkennung, zumindest in seiner Wahlheimat Großbritannien.

Die großen Schurken hatten alle schon ihren Auftritt. Jetzt schleicht sich ein kleiner herein:

Alain Aspect

Mitte der Fünfzigerjahre hatte *John Bell* die Ideen Einsteins aus dem Jahr 1935 zur Widerlegung der Quantenphysik verfeinert und präzisiert. Ende der Sechzigerjahre begann eine Reihe von Forschern, entsprechende Tests zu machen. Das entscheidende Experiment stammt von *Aspect* (1981, 1982). In diesen Experimenten geht es darum festzustellen, ob sich der Zustand eines Teilchens sofort ändert, wenn sein "Zwillingsteilchen" (das zur gleichen Zeit aus dem gleichen Atom geboren wurde) seinen Zustand ändert. Die Autoren verwendeten für ihre Experimente polarisierte Lichtteilchen, aber die sind höllisch schwer zu kontrollieren.

Stellen sie sich vor, Sie müssten für ein Experiment dieser Art aus den gischenden Meereswellen ein einzelnes Wassermolekül isolieren, beobachten, in seiner Entwicklung genau verfolgen, aber es in keiner Weise beeinflussen oder gar einsperren. So ähnlich ging es den Experimentatoren. Und weil das Verfolgen eines einzelnen Lichtteilchens unmöglich ist - Photonen entstehen immer gleichzeitig zu Tausenden und sind nicht unterscheidbar - griffen die Forscher auf eine Formel von Bell zurück, bei der Teilchen statistisch ausgezählt und gegeneinander verglichen werden. Auch das ist ziemlich heikel, denn: Wie gut sind die Licht-Detektoren? Können sie einzelne Photonen registrieren, wie oft behauptet wird, oder diese nur in Hundertschaften feststellen, wie Kritiker der orthodoxen Quantenphysik meinen?

Nun also führten *Aspect* und Mitarbeiter ein solches Bellsches Experiment durch, zählten Photonen und kamen zur Feststellung: Bohr und Konsorten hatten Recht, gemeinsam entstandene Licht-

teilchen sind auch über weite Entfernungen hinweg "korreliert" oder *verflochten* (englisch: "entangled"). Die orthodoxe Quantenphysik war bestätigt, es gibt tatsächlich *spukhafte Fernwirkungen*, die Einstein aus verständlichen Gründen abgelehnt hatte, weitere Zweifel am "Kopenhagener Bekenntnis" sind nicht statthaft.

Die Statistikerin *Caroline Thompson* ging der Sache mit der einer Mathematikerin eigenen Gründlichkeit nach. Sie analysierte Versuchsaufbau, alternative Erklärungen, und vor allem die Originaldaten, die ihr Aspect zur Verfügung stellte. Das Ergebnis ihrer Recherchen: Aspect hatte seine Daten *korrigiert*, ein höflicher Ausdruck dafür, dass er die Rohdaten *verfälschte*, sodass sie der Bestätigung der orthodoxen Meinung dienen (siehe Diagramm). Denn Aspects Rohdaten liegen genau auf der Kurve, die eine rein statistische Korrelation ergeben würde, ganz ohne Verflechtung oder überlichtschnelle Verbindungen. Indes: Thompson war keineswegs die einzige und auch nicht die erste Kritikerin. Schon vorher (1994) hatte *James Paul Wesley* die Experimente einer gründlichen Analyse unterzogen; er kam zu den gleichen Erkenntnissen.

Und was lernen wir daraus? Eine "Quantenkorrelation" wurde nicht widerlegt; sie wird aus vielen Gründen nahe gelegt. Doch die Forschungs- und Publikationspraxis der Wissenschaftler und der wissenschaftlichen Fachzeitschriften dient offenbar nur dazu, fest vorgegebene, "orthodoxe" Meinungen zu bestätigen bzw. alle Daten im Hinblick darauf zu interpretieren - mit ein wenig Nachhilfe, wenn sie nicht ganz passen. Das Ganze könnte als akademischer Streit abgetan werden, stünde nicht unsere gesamte Wissenschaftspolitik in der Kritik - und die Milliarden Gelder, die täglich in sie fließen. *Caroline Thompson* sagt dazu:

Sie (diese Wissenschaftler) halten einen Mythos aufrecht, einen, der die Wissenschaft durch Einführung von Magie unterminiert.

Ganz abgesehen davon, dass unsere Wissenschaftsgeschichte neu geschrieben, unsere Wissenschaftspolitik neu konzipiert, unsere

wissenschaftlichen Lehrbücher neu verfasst werden müssten. Beispielsweise werden Milliardenfelder heute und morgen in die Möglichkeiten von "Quantencomputern" gesteckt - Geräte, die offenbar nur in der Fantasie mystisch angehauchter Quantenphysiker existieren.

Mystik in der Physik oder Was vernünftige Menschen alles glauben

*Das unvermerkte Ziel, das jeder echte Naturforscher als
Trieb in sich empfindet, ist die vollkommene und restlose
Überwindung des Augenscheins und dessen Ersatz durch
eine dem Laien unverständliche und unvollziehbare Bilder-
sprache.
Oswald Spengler: Der Untergang des Abendlands (1923)*

Warum eigentlich gegen die Quantenphysik argumentieren? Ist sie nicht die allergenaueste aller physikalischen Theorien? Das ist einer der großen Mythen, der immer wieder verbreitet wird. Tatsache ist: Die Quantenphysik liegt in einigen Bereichen nicht nur um ein paar Prozentpunkte falsch; ja, sie liegt, wie im Bereich der Heisenbergschen Unschärfe, nicht nur um einige Zehnerpotenzen falsch; nein, in einem wichtigen Gebiet liegt sie *unendlich falsch*. Da die Quantenphysik annimmt, Elektronen seien struktur- und ausdehnungslose Teilchen, wird das elektrische Feld des Elektrons auf seiner - nicht vorhandenen - Oberfläche natürlich unendlich, denn $x/0 = \infty$, egal, wie groß oder wie klein x ist (x = Größe des Felds, 0 = Oberfläche des Elektrons, ∞ = daraus resultierende

Felddichte, das ist die Feldstärke pro (= dividiert durch) Fläche). Um diesen Unendlichkeiten zu entgehen, haben sich die Physiker (insbesondere *Richard Feynman*) eine Methode ausgedacht, die jedem Schuljungen ein "ungenügend" einbringen würde: Sie *subtrahieren* nochmals unendlich, in der vagen Hoffnung, die Sache sei damit in Ordnung.

Wie jeder weiß, der in der Schule über Unendlichkeiten lernt, ergibt $8 - 8$ keineswegs 0, nicht einmal eine endliche Zahl, aber auch nicht 8. Dieser mathematische Ausdruck ist schlicht und einfach *unbestimmt*, d.h. mathematisch *verboten*. Doch was einem Schuljungen aus vernünftigen Gründen untersagt wird, dürfen sich die Nobelpreisträger *Julian Schwinger*, *Sin-Hiro Tomonaga* und *Richard Feynman* erlauben. Und das Ganze heißt dann nicht etwa *naive Mathematik*, sondern *Renormalisierung*. Das also ist die Auffassung der modernen Physik von "Normalität"!

Aaaaaaber, so der nächste Einwand, die Quantenphysik hätte doch mit ihren Formeln ganz korrekt Dinge vorausgesagt, die später experimentell bestätigt wurden, beispielsweise das Neutron und die Antiteilchen, auf Grund der Dirac-Gleichung. Das stimmt - aber war diese Voraussage echt? Immerhin kann die zentrale Gleichung der Quantenphysik, die Schrödinger-Gleichung, nur die allereinfachsten Atome berechnen, nämlich das Wasserstoff- und das Helium-Atom. Alles, was darüber hinausgeht, braucht Modifikationen und Näherungslösungen, Zusätze und Abstriche.

Aber zurück zu den Prognosen der Quantenphysik. Prognosefähigkeit sollte auch stets die Grundlage einer wissenschaftlichen Theorie sein. Doch dass eine Theorie einmal etwas korrekt voraussagt, heißt noch nicht, dass die Theorie insgesamt korrekt ist. Drei Gegenbeispiele:

Fall 1: Die *Phrenologie* war eine Art Vorläuferin der modernen Neurologie. Sie versuchte Charaktereigenschaften bestimmten Hirnregionen zuzuordnen und diese Zuordnung auf Grund der Ausprägung des Kopfs, also rein von außen, zu ergründen. Heute

wird diese Theorie in die gleiche Ecke wie Handlesen, Astrologie und Irisdiagnostik gestellt. Doch zu ihrer Zeit erbrachte sie zumindest eine erstaunliche Voraussage. Als sich dem Gleisarbeiter *Phineas Gage* bei einem Unfall am 14. September 1848 eine Eisenstange durch den Schädel bohrte, überlebte der arme Mann den schrecklichen Unfall fast unbeschadet. Nur sein Charakter änderte sich gewaltig. Aus einem fleißigen, pflichtbewussten, bescheidenen Menschen wurde ein verantwortungsloser Aufschneider. (Vielleicht hätte er in der Politik Erfolg gehabt.) Und siehe da, dem Phrenologen *Nelson Sizer* gelang eine erstaunlich zutreffende Begründung der charakterlichen Veränderungen des Unglücksopfers allein auf Grund der Areale, die die Eisenstange durchbohrt und geschädigt hatte. Durch den Unfall wurden die Zentren für "Wohllollen" und "Verehrung" geschädigt. Ist die Phrenologie deswegen eine Wissenschaft?

Fall 2: Als ein Seefahrer aus Genua, heute bekannt unter dem Namen *Christof Kolumbus*, sein Projekt einer Fahrt über den Atlantik nach Indien dem spanischen Königspaar verkaufen wollte, stützte er sich auf damals gebräuchliche, aber völlig falsche Landkarten. In ihnen war der Atlantik viel zu klein eingezeichnet. Kolumbus berechnete die Entfernung und die benötigten Mittel. Er bekam seine Expedition finanziert - und genau an der Stelle, wo "Indien" auf den falschen Karten eingezeichnet war, entdeckte er Amerika, das ursprünglich ja auch Indien heißt, woran uns noch die Bezeichnung der Ureinwohner erinnert. Waren die spätmittelalterlichen Kartenzeichner deswegen Wissenschaftler?

Fall 3: Die Position des Planeten Neptun wurde auf Grund von Bahnstörungen des Uranus mittels der Newtonschen Gleichungen vorausgesagt. Das gleiche geschah mit dem nächsten Planeten: *Percival Lowell* berechnete seine Position, und der junge Amateurastronom *Clyde Tombaugh* entdeckte ihn an der vorausberechneten

ten Stelle am 18. Februar 1930. Indes: Pluto war viel zu klein, als dass er in irgendeiner Weise die Bahn des Neptun beeinflussen könnte. Hier hatte eine korrekte Theorie mittels korrekter Berechnungen zu einem korrekten Resultat geführt - und dennoch war alles falsch!

So verwendet auch die Quantenphysik, wie fast jeder Zweig der Physik, unzählige Vereinfachungen, Korrekturen, Störungsrechnungen und ad-hoc-Annahmen. Eine richtige Voraussage ist hier eher zufällig. Vor allem aber: Die Quantenphysik will gar nichts voraussagen! Das jedenfalls ist einem Brief von einem ihrer Mitbegründer zu entnehmen. Am 12. 4. 1926 schrieb *Wolfgang Pauli* an *Pascual Jordan*:

Sowohl in der Göttinger (= Heisenbergschen) als auch in der Schrödingerschen Formulierung des Quantenproblems wird grundsätzlich keine raumzeitlich Beschreibung der Bewegung des Elektrons im Atom gegeben.

Das Grundprinzip der klassischen Physik, zu ergründen (und zu beschreiben), was die Welt - hier: das Atom - im Innersten zusammen hält, dieses Prinzip wird durch die Quantenphysik nicht erfüllt. Pauli sieht darin keinen Mangel - offenbar hat die moderne Physik andere Aufgaben als uns die Welt zu erklären, diese zu beschreiben und die Zukunft voraus zusagen. Und er hat ja Recht, wie ein paar Jahrhunderte vor ihm schon der Weiße König aus *Lewis Carrolls* "Alice im Wunderland" erkannte. Als ihm bei einer Gerichtsverhandlung das Weiße Kaninchen ein unsinniges Gedicht vorlas, bemerkte er bemerkenswert filosofisch:

"Wenn kein Sinn darin ist, so erspart uns das eine Menge Arbeit, denn dann brauchen wir auch keinen suchen."

Zurück zum geistigen Gehalt der Quantenphysik. Der mystische Kram, der in der orthodoxen Quantenphysik herum geistert, ist so schlimm, dass bei einer Konferenz mit dem *Dalai Lama* (dem spirituellen Oberhaupt des tibetischen Buddhismus) tatsächlich eini-

ge Physiker den hohen Herrn baten, ihnen doch die Unstimmigkeiten ihrer eigenen Wissenschaft zu erklären. Der Dalai Lama wies das Ansinnen höflich ab - verständlich, denn seine Religion ist weitaus rationaler und logischer als das, was die Quantenphysiker als "Wissenschaft" verkaufen.

Zwei Beispiele hatten wir schon kennen gelernt. Hier eine kurze Zusammenfassung dessen, was sich Bohr und Co ausgedacht hatten - nur um originell zu sein:

- Ein einzelnes Teilchen (Lichtteilchen = Foton, Elektron) ist gleichzeitig Teilchen und Welle. Tatsächlich kann etwas nicht zugleich weiß und nicht-weiß sein - außer, ein Herr Bohr behauptet das.

- Ein einzelnes Teilchen kann sich plötzlich in eine Welle verwandeln, sich mit sich selbst überlagern, sich dabei total verändern, um danach wieder ein ganz normales Teilchen zu sein - verändert und unverändert zugleich. Stichwort: Ein Teilchen geht gleichzeitig durch zwei Spalte. Doch sind Messungen, die behaupten, einzelne Lichtteilchen zu erfassen, durchweg falsch. Und die Annahme der Doppelnatur ist außerdem überflüssig - alles ist durch Teilchen und deren Organisation durch bestimmte "Potentiale" erklärbar. Tatsächlich hat *Panarella* nachgewiesen, dass Interferenzen verschwinden, wenn die Intensität des Lichts sehr klein wird - wenn also Licht seinen Wellencharakter verliert.

- Teilchen können Energiebarrieren überwinden, indem sie einen Tunnel graben, oder, etwas vornehmer ausgedrückt: indem sie sich Energie auf Kosten der Zeit borgen. Tatsächlich wird die Höhe der Energie schlichtweg falsch berechnet - sie ist gar nicht so hoch.

- Ort und Impuls (= Masse mal Geschwindigkeit) eines Teilchens können niemals gleichzeitig exakt bestimmt werden (Heisenbergsche Unschärferelation). Will man ein Teilchen fassen, verwandelt es sich flugs in eine Welle; will man eine Welle messen, verwandelt sie sich flugs in ein Teilchen. Tatsächlich trifft diese

Beziehung in den meisten Fällen nachweislich nicht zu; sie ergibt sich nur aus dem mathematischen Formalismus, der so hingebogen wurde, dass eine gleichzeitige Bestimmung mathematisch unmöglich wird.

- Der Ort von Teilchen ist von Natur aus unbestimmt. Nur Wahrscheinlichkeiten sind angebar - aber die sind keine mathematischen Wahrscheinlichkeiten, sondern "Wahrscheinlichkeitswellen" mit dem höchst ungewöhnlichen Verhalten, dass sie bei einer Messung ganz plötzlich schärfer werden ("reduziert" = gestaucht) - im Gegensatz zu allem, was in der Natur zu beobachten ist. In Wirklichkeit kann die Bahn von Teilchen exakt, kausal und deterministisch bestimmt werden.

- Selbst wenn die Vergangenheit eines Zustands bekannt ist, wird diese in Zukunft immer unschärfer, bis sie schließlich verschwindet. Wohlgedenkt: die Vergangenheit an sich, nicht etwa die Erinnerung daran! (Diese seltsame Tatsache wurde gefunden von *Einstein, Tolman* und *Podolsky*, veröffentlicht in einem Brief an die Zeitschrift *Physical Review* vom 26.2.1931).

- Zwei gleichzeitig geborene Teilchen, quantenphysikalische Zwillinge sozusagen, sind für ewig durch ein unsichtbares Band miteinander verbunden - sie tauschen augenblicklich Informationen über den Zustand des anderen. Diese *spukhafte Fernwirkung* (Einstein) wurde von *Bohr* dadurch erklärt, dass er den Messapparat ins Spiel brachte. Doch Messapparate kommen im Formalismus der Quantenphysik gar nicht vor!

Physik ohne Mystik

oder

Wie man auf dem Boden der Wirklichkeit bleibt

*Schicksal bedeutet ein Wohin, Kausalität bedeutet ein Woher. Wissenschaftlich begründen heißt, den mechanisch aufgefassten Weg rückwärts verfolgen. Aber es lässt sich nicht rückwärts leben, nur rückwärts denken.
Oswald Spengler: Der Untergang des Abendlands (1923)*

Geht's auch sachlich - ich meine, die Physik?

Es geht. Wir haben mindestens zwei kausale, mystikfreie Alternativen zur orthodoxen Quantenphysik, eine von *David Bohm*, eine von dem "Dissidenten" *James Paul Wesley*. Beide kommen ohne den Gedankenkram aus, der üblicherweise die Hirne der Physikstudenten vernebelt. Es gibt bei ihnen:

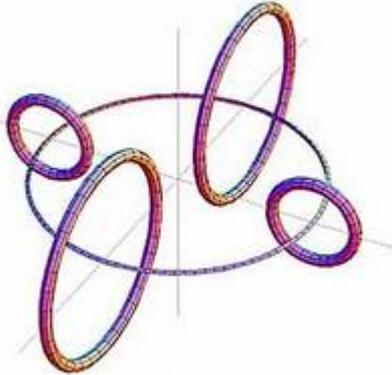
- keinen *Teilchen-Welle-Dualismus*. Es gibt nur Teilchen, die sich im Verbund wellenförmig organisieren und so gemeinsam die Welt durchwandern.
- keine *Selbstinterferenz* eines Teilchens mit sich selbst. Einzelne Teilchen sind Teilchen, niemals Wellen. Das geheimnisvolle *Doppelspalt-Experiment* wird durch Betrachtung der Energieflüsse erklärbar: Alle Teilchen bleiben in ihrem Bereich.
- keine *Wahrscheinlichkeitswellen* und damit auch keine *Reduktion des Wahrscheinlichkeitswellenpakets*. Die Bahn von Teilchen ist kausal und deterministisch (eindeutig vorausbestimmt und damit vorausberechenbar).

- keine *Unschärferelation*. Ort und Impuls eines Teilchens sind, im Rahmen der Messanordnung, zugleich und mit beliebiger Genauigkeit bestimmbar.

- keinen *Tunneleffekt*. Die Energiebarriere wurde nach Wesley schlicht und einfach falsch berechnet. Sie ist in Wirklichkeit gar nicht so hoch - das Teilchen kann ohne Wunder darüber springen.

- keine *Unendlichkeiten*.

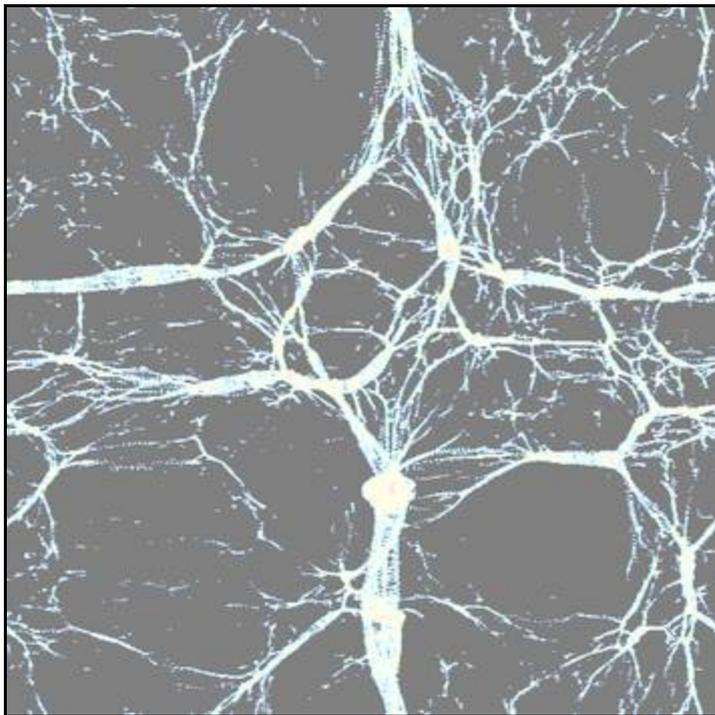
Wesley verwendet dazu das Ringmodell des Elektrons, das bereits im Jahre 1915 durch *A.L. Parson* vorgeschlagen wurde und heute vergessen ist. Nach diesem Modell ist das Elektron kein unendlich kleines Teilchen, sondern ein Ring aus Energie, die mit Lichtgeschwindigkeit das Zentrum umkreist. Auf diese Weise können Spin und magnetisches Moment des Elektrons auf ganz natürliche Weise erklärt werden, wohingegen die klassische Quantenphysik die beiden Größen willkürlich einführen muss. Und zusätzlich ist das Elektron stabil - das Bohrsche Postulat ("Es gibt Bahnen, auf denen das kreisende Elektron nicht strahlt") wird überflüssig.



Was es sehr wohl zu geben scheint: eine *Quantenkorrelation oder -verflechtung* von Teilchen, die gemeinsam entstanden sind, z.B. Licht. Oder doch nicht? Schauen wir uns einfach an, wie Bohm und Wesley die Welt des winzig Kleinen erklären!

Es gibt in der **Kausalen Quantenphysik** nur Teilchen. Sie bleiben Teilchen, verwandeln sich niemals in Wellen, höchstens in andere Teilchen (wenn sie instabil sind) oder in Energie (wenn sie zerstrahlen). Ihre Bahnen sind streng vorherbestimmt, ihr Er-

scheinungsbild also kausal (eindeutige Ursache - eindeutige Wirkung) und deterministisch (eindeutig bestimmt). Aber wodurch? Durch etwas, das beide Autoren **Quantenpotential** nennen und das bei *de Broglie*, einem der Vorläufer dieser Quantenphysik, "Führungswelle" hieß. Der Name ist gut gewählt; man muss den Begriff nur richtig interpretieren. Und hier scheiden sich die Geister.



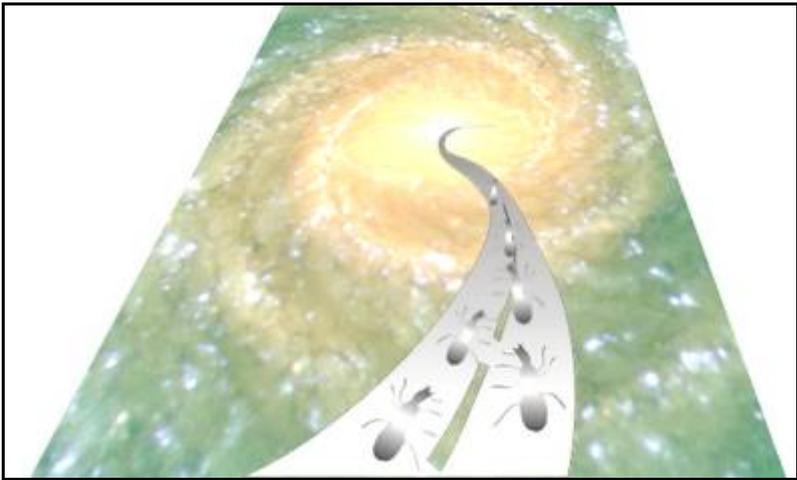
*Das **Quantenpotential** verbindet alle Orte des Universums und lenkt seine Teilchen wie ein unsichtbares Spinnennetz*



Bohm neigte zumindest in späteren Jahren zur Mystik und befreundete sich mit dem indischen Guru *Krishnamurti*, von dem er esoterische Gedanken übernahm (oder sich bestätigen ließ). Bei *Bohm* ist das Quantenpotential eine Art Feld, welches das gesam-

te Weltall erfüllt und alle Teilchen des Universums in einer Art kosmischer Ordnung zusammenfasst. So steht bei ihm jeder Teil des Weltalls mit jedem anderen in unmittelbarem Zusammenhang. Alles ist in sich geschlossen, eine Einheit, wo jeder Teil jeden anderen sofort, auch über die gigantischen Entfernungen des Kosmos hinweg, beeinflusst. Das alles klingt ein wenig nach indischer Philosophie, nach Karma und dem alldurchdringenden göttlichen Hintergrund.

Ganz anders bei dem nüchternen und jeglicher Mystik abholden Wesley. Er vergleicht die Führungsqualitäten des Quantenpotentials mit den Schienen einer Eisenbahn. Die Schienen lenken den Weg des Zugs, ohne eine aktive Kraft darzustellen und auch ohne augenblickliche Wirkungsübertragung. Die Schienen wirken immer dort, wo sich ein Teilchen gerade befindet, und jedes Teilchen - also auch Licht - bewegt sich entlang dieser vorgegebenen Bahn. Bleibt die Frage: Woher kommen diese Quantenschienen?

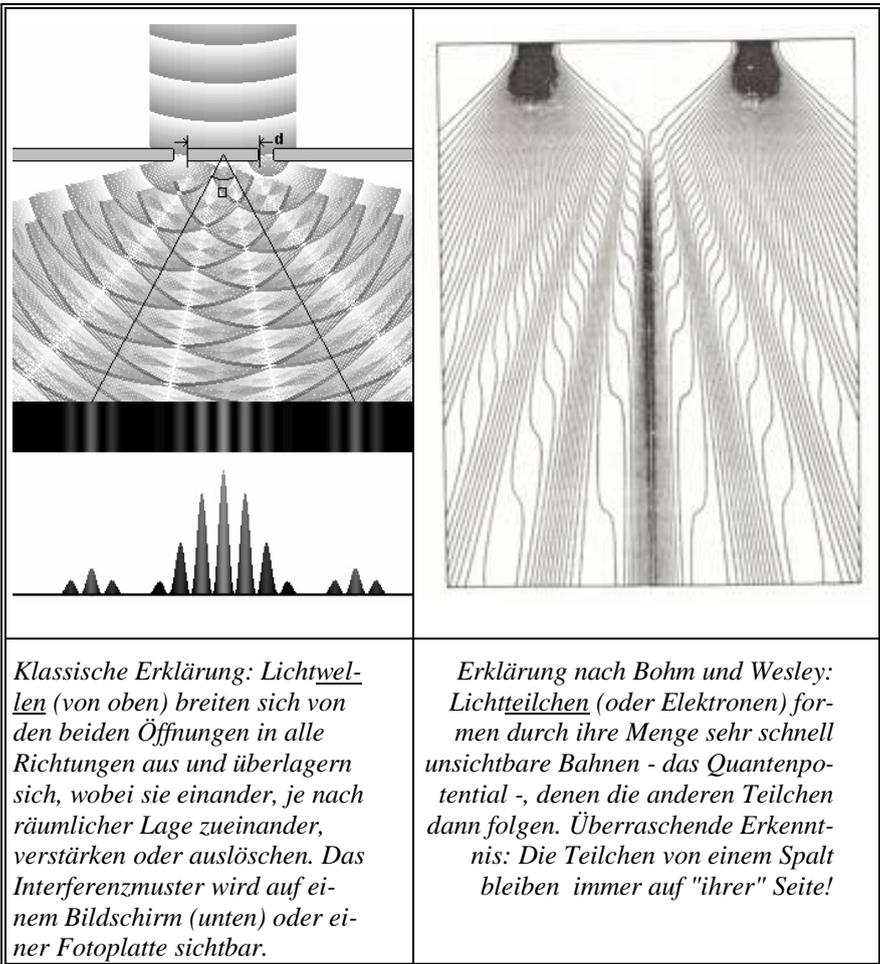


Wesleys "Quantenschienen": Sie werden erzeugt wie Ameisenstraßen, durch das Zusammenwirken unzähliger Einzelteilchen, die mit ihren "Duftmarken" ein unsichtbares kosmisches Netz weben

Ganz einfach: von den Teilchen selbst. Hier hilft ein Vergleich mit dem, was Ameisen dazu bewegt, sich in all dem Chaos, das sie selbst verursachen, letztenendes doch geordnet zu bewegen. Ameisen hinterlassen bei ihren Wanderungen Duftspuren (Pheromone), die schnell wieder verdunsten. Folgen allerdings zahlreiche Ameisen ein und derselben Spur, werden die Duftmarken länger halten, was noch mehr Ameisen anlockt. So bilden sich im Lauf der Zeit allmählich viel begangene Wege, denen auch viele Ameisen folgen, während die Spuren der wenig begangenen Wege schnell versickern.

So auch bei Licht, bei Elektronen, bei allem, was den Spuren des Quantenpotentials folgt, nur wesentlich schneller: Bereits vorhandene Photonen prägen die Umgebung, hinterlassen ihre unsichtbaren Duftmarken im Äther und an den Rändern der Spalten. Andere Photonen folgen ihnen, wie Ameisen den Geruchsspuren ihrer Artgenossen, und so ergibt sich sehr schnell ein Muster, dem Lichtteilchen oder Elektronen scheinbar unerbitterlich gehorchen. Wir sehen allerdings nicht, wie schnell sich diese Prägung herausbildet, wir bemerken nur erstaunt die Wirkung der markierten Wege. Kurzum: Das Quantenpotential, dem die Teilchen folgen, wird von den Teilchen selbst erzeugt. Die erstaunliche Ordnung, die wir in der Welt des unendlich Kleinen so bewundern, stammt von den Bewohnern dieser Welt!

Der Doppelspalt-Versuch



Klassische Erklärung: Lichtwellen (von oben) breiten sich von den beiden Öffnungen in alle Richtungen aus und überlagern sich, wobei sie einander, je nach räumlicher Lage zueinander, verstärken oder auslöschen. Das Interferenzmuster wird auf einem Bildschirm (unten) oder einer Fotoplatte sichtbar.

Erklärung nach Bohm und Wesley: Lichtteilchen (oder Elektronen) formen durch ihre Menge sehr schnell unsichtbare Bahnen - das Quantenpotential -, denen die anderen Teilchen dann folgen. Überraschende Erkenntnis: Die Teilchen von einem Spalt bleiben immer auf "ihrer" Seite!

Seltsame Materie

oder

Alles Quark oder was?

*Wir müssen wieder gute Nachbarn der nächsten Dinge werden
und nicht so verächtlich wie bisher über sie hinweg nach Wolken
und Nachtunholden hinblicken.*

Friedrich Nietzsche

Wohin die Hybris der mathematisierenden Schaukelsuhl-Physiker führen kann, zeigt die Entwicklung der modernen Kernphysik bzw. ihrer mathematischen Modelle. Dabei fing alles so vernünftig an - bei den alten Griechen. Denn schon die alten Griechen hatten die Idee, die Welt bestehe aus unteilbaren Teilchen, Atome genannt, und leerem Raum dazwischen. Alles andere entstehe durch Zusammenstöße, Vereinigungen und Trennungen dieser Atome. Damit spiegelte Demokrits Lehre von den Atomen die klassische griechische Gesellschaft wider, mit den Stadtstaaten als unabhängigen Teilchen, die miteinander kämpfen, sich wieder vertragen, um sich dann zu trennen.

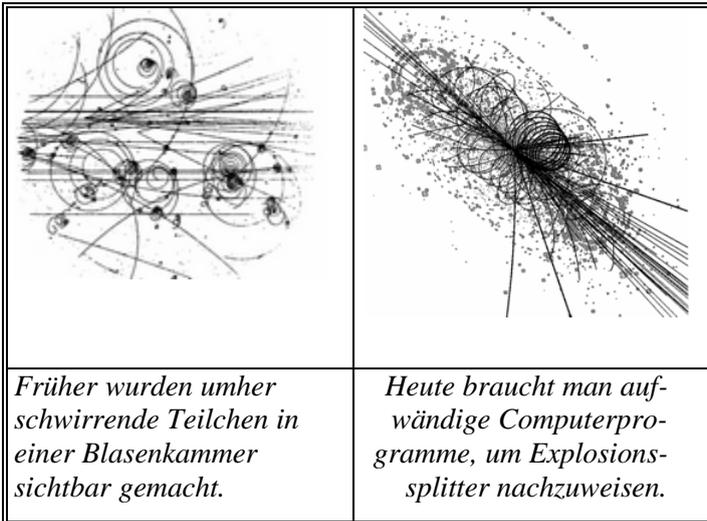
Indes, die Idee fand auch in der abendländischen Wissenschaft Anhänger. Erst entdeckten Alchimisten und Chemiker die Elemente, aber es wurden immer mehr. Dann fanden die Forscher, dass jedes Element durch seine Atome beschrieben werden kann, und bald entdeckten sie, dass Atome aus einem positiv geladenen Kern und negativ geladenen Elektronen bestehen, die den Kern umkreisen wie die Planeten unsere Sonne. Dieses Atommodell von Niels Bohr setzte sich allgemein durch und wird auch heute noch mit großem Gewinn verwendet, nicht nur im Unterricht.

Durch Experimente mit radioaktiven Materialien, die von selbst in zwei leichtere Elemente zerfallen, kam schließlich zutage, dass der Kern aus positiv geladenen Protonen und aus neutralen Neutronen besteht, während die Teilchen in der Atomhülle, die Elektronen, schon früher isoliert und identifiziert wurden. Entscheidend für das Verständnis der inneren Struktur der Atome waren die Experimente von *Ernest Rutherford*, die er 1911 in Cambridge in England durchführte. Er bombardierte eine dünne Goldfolie mit Alpha-Strahlen, das sind Helium-Atomkerne, die das natürlich radioaktive Element Radium bei seinem Zerfall mit hoher Geschwindigkeit aussendet. Die Teilchen wurden an den Goldatomen gestreut und reflektiert und erlaubten so Einblick in die Struktur der Atome. Rutherfords Erkenntnis: Fast die gesamte Masse ist im Atomkern konzentriert, fast der gesamte Raum innerhalb eines Atoms ist leer.

Rutherfords Methode wird immer noch verwendet, nur mit dem Unterschied, dass heutzutage keine natürlichen Mini-Bomben, sondern Elektronen oder Protonen benutzt werden, die man mittels starker Magnetfelder auf langen Bahnen ("Beschleunigerringe") auf hohe Geschwindigkeit bringt. Diese Teilchen prallen dann mit hoher Energie aufeinander oder in einen anderen Atomkern. Die dabei auftretenden Splitter - meist Teilchen mit unvorstellbar kurzer Lebenszeit - werden in Blaskammern oder durch Detektoren sichtbar gemacht, von komplizierten Computerprogrammen analysiert und von Menschen mit bestimmten Vorstellungen ausgewertet. Ergebnis: Neue Teilchen, die ebenso flüchtig sind wie der Ruhm der Wissenschaftler, aber manchmal gibt es dafür auch einen Nobelpreis.

Und die Methode ist schlichtweg grotesk. Stellen Sie sich zur Veranschaulichung vor, Sie wollen die Form einer Nuss innerhalb ihrer Schale erkunden. Dazu nehmen Sie einen Dampfhammer, mit dem Sie mit ungeheurer Wucht die Nuss zertrümmern. Die auseinanderfliegenden Splitter sowie den übriggebliebenen Brei untersuchen Sie dann. Würden Sie das tun? Die Kernphysiker ge-

hen so vor, wenn sie das Innere der Atomkerne ergründen wollen. Sie hauen alles kaputt; die Bahnen der wegspritzenden Trümmer werden aufgezeichnet und die Daten in aufwendigen Computeranalysen aufbereitet und danach einer staunenden Fachwelt präsentiert. So hoffen die Physiker auf Aufschlüsse im Innern der Materie. Doch wie sieht das Atom in seinem Innern wirklich aus?



Je mehr solcher Experimente durchgeführt wurden, desto mehr Teilchen wurden entdeckt. Manche verschwanden wieder stillschweigend in der Versenkung (wie das Teilchen namens "Omega"), andere wurden gleichzeitig entdeckt und benannt, sodass sie nun einen Doppelnamen tragen (wie das "J/Psi-Teilchen")(siehe dazu ein besonders bezeichnendes Beispiel im nächsten Kapitel). Die meisten der neuen Teilchen waren schlichtweg unerwünscht, denn in der Realität gibt es nur Protonen, Neutronen, Elektronen und - möglicherweise - Neutrinos. Und überhaupt: Was soll das. Die Natur sollte so einfach sein wie das Gemüt der Physiker, sie wurde aber von Beschleuniger zu Beschleuniger kompliziert, bis der Nobelpreisträger *Isaac Isidor Rabi* eines Tages, als schon

wieder ein neues Teilchen präsentiert wurde, verzweifelt ausrief: *Wer hat denn das bestellt?* Also musste der "Teilchenzoo" (so der offizielle Name der subatomaren Lebensformen) ebenso vereinfacht werden wie weiland die Vielfalt chemischer Elemente. Das aber ging nur durch Einführung neuer Teilchen.

So kam 1964 der spätere Nobelpreisträger *Murray Gell-Mann* nach Lektüre von James Joyce's "Finnegans Wake" auf die Idee, diese Mikrobausteine **Quarks** zu nennen. Im Deutschen bedeutet das Wort bekanntlich eine breiige Masse, die gelegentlich synonym für "Quatsch" verwendet wird. Gell-Manns Idee heißt heute **Standard-Modell**; es schien den Teilchensalat erst einmal mit nur drei verschiedenen Quark-Teilchen sauber zu ordnen. Mit dem "up", dem "down" und dem "strange" Quark konnten alle damals bekannten beständigen und flüchtigen Teilchen wie mit Legobausteinen aufgebaut werden.

Das Stichwort lautet: damals. Denn jetzt ging's erst richtig los. Fast jedes Jahr wurde ein neues Quark postuliert (also ausgetüfelt, nicht etwa entdeckt! Wirklich gefunden wurde bis heute kein einziges, trotz gegenteiliger Behauptungen. Zum Grund dafür gleich mehr.). Erst erhielten Quarks die - willkürliche - Eigenschaft "Farbe", und nunmehr konnte jedes der drei bisher postulierten Quarks in sechs Farbtönen vorkommen: rot, antirot (oder cyan), grün, antigrün (oder magenta), blau, antiblau (oder gelb). Eine neue Wissenschaft, die "Quantenchromodynamik" (abgekürzt QCD, von griechisch chroma = Farbe) sollte diese Teilchen und ihre Wechselwirkungen erklären: den Aufbau der Atombestandteile sowie die Kräfte zwischen ihnen.

Leider reichten die bisherigen Eigenschaften der Quarks nicht aus. Inzwischen kamen neue dazu, und den Physikern geht die Fantasie aus, sie zu benennen: Ein Quark heißt nun "charmant" (da muss sich jemand einen Scherz erlauben haben), eines "bottom", eines "top". Die QCD kann alle drei nicht erklären, vor al-

lem nicht, warum das top-Quark soviel schwerer als seine Genossen sein soll. Wir haben also jetzt sechs Quarks, jedes in drei Farben, gibt insgesamt $6 \times 3 = 18$ Teilchen, dazu ihre Antiteilchen in den Antifarben, macht 36 Teilchen.

Und nun die Hypothese: Jedes Elementarteilchen oberhalb der Quarks (Proton, Elektron, aber auch flüchtige Teilchen) besteht aus zwei oder drei Quarks, und zwar so, dass sich die Farben zu "weiß" aufheben (alles nur symbolisch!). Also beispielsweise rot + antirot, oder rot + grün + blau. Aber halt: Wenn die Ladung eines Protons gleich "+1" ist (eine positive Einheitsladung), dann muss ein Quark die Ladung $1/3$ haben!

Womit wir bei dem sind, was an der QCD irgendwie seltsam erscheint: So gut wie alle Eigenschaften der Quarks widersprechen dem gesunden Menschenverstand und den bisher bekannten Gesetzen der Physik. Was nicht heißt, dass es sie nicht gibt oder dass die Theorie falsch ist. Immerhin gab es dafür Nobelpreise, also muss sie wohl stimmen. Es heißt nur, dass wir, wollen wir diese Ideen akzeptieren, radikal umdenken müssen. Hier einige der Seltsamkeiten:

- Quarks tragen $1/3$ der Einheitsladung. Damit wird das Konzept "Einheitsladung" sinnlos.
- Quarks konnten bisher nicht frei beobachtet werden. Daraus folgern die Forscher, dass es keine freien Quarks gibt. Daraus folgern sie weiter, dass die Kraft, welche die Quarks zusammenhält, die "Farbkraft" also, mit der Entfernung **zunimmt** - im Widerspruch zu allen anderen Kräften sowie auch zu unserem gesunden Menschenverstand! Zudem wird diese Gefängnis-Wirkung von der QCD nicht vorausgesagt, sie muss zusätzlich postuliert werden.
- Ein wichtiger Erhaltungssatz der Physik, die Erhaltung der Ladung (elektrische Ladung kann nicht verschwinden oder spontan entstehen), ist bei Quarks verletzt.
- Quarks verletzen das Pauli-Prinzip, ein wichtiges Gesetz zur Erklärung aller atomaren Zustände. (Vereinfacht besagt das Pauli-

Prinzip: Zwei materielle Teilchen ("Fermionen"), die in allen Eigenschaften übereinstimmen, können nicht gleichzeitig in räumlicher Nähe existieren.)

- Quarks besitzen auch eine "Händigkeit". Jedoch: Nur die linkshändigen Quarks sind geladen, die rechtshändigen dagegen neutral.

- Quarks werden durch "Gluonen" ("Klebetilchen", ähnlich den Lichtteilchen oder Fotonen) zusammengehalten. Doch diese Gluonen werden selbst von ihrer eigenen Kraft, der Farbkraft, beeinflusst, sodass eine exakte Berechnung der Kraftverhältnisse nicht möglich ist (außer durch Computer-Simulationen).

- Quarks, die Bestandteile der Protonen, können den Spin der Protonen nicht erklären.

- Keine einzige Quark-Masse kann aus der QCD abgeleitet werden. Alle Massen sind willkürliche Werte, die von außen in die Theorie hinein getragen werden. Dazu die Nobelpreisträger *Sheldon Glashow* und *Leon Ledermann*, die Wesentliches zur Theorie der Kernphysik beigetragen haben:

Sicherlich hat der Schöpfer nicht an 17 Rädchen seines Schwarzen Kastens gedreht, bevor Er den Urknall startete ... Unsere gegenwärtige Theorie ist unvollständig, nicht ausreichend und unelegant.

Und in einem wirklich gut geschriebenen Online-Artikel von *Jörg Resag* über Kernphysik stand der bezeichnende Satz:

Dem Standardmodell ist im Prinzip jedes Messergebnis recht.

Na großartig! Da haben wir zum ersten Mal eine Theorie, die dem *Popperschen* Kriterium der Falsifizierbarkeit (die Theorie kann durch Experimente prinzipiell widerlegt werden) von Haus aus widerspricht. Nichts, kein Experiment, kein Befund, kann diese Theorie zu Fall bringen! Wie war das mit der Unfehlbarkeit des Papstes? Ach ja, er hat sie sich selbst verliehen ...

Ungeachtet dieser und anderer Eigenarten suchen die Wissenschaftler weiter nach dem ultimativen Teilchen, das nach ihren Erfinder "Higgs-Boson" genannt wird, und das, wie der Stein der Weisen, alles erklären soll. Manchmal erinnert die Jagd danach an Kapitän Ahab und seinen Weißen Wal ("Moby Dick"), den er unbedingt fangen wollte, was er und seine gesamte Mannschaft mit dem Leben büßten. Immerhin: Den Weißen Wal gab es tatsächlich, das Higgs-Boson ist bisher eine physikalische Chimäre. Damit es gefunden wird, brauchen die Forscher immer stärkere Anlagen. Sie wollen damit die Verhältnisse beim Urknall simulieren, doch der ist genauso fiktiv wie die Gell-Mannschen Quasch-Teilchen.

Das Higgs-Boson - Erlöserteilchen oder Chimäre?

Womit wir in der Realität gelandet wären. Ein Experiment am National Brookhaven Linear Accelerator mit Goldatomen soll den Nachweis von "seltsamer Materie" führen. Dabei könnte, nach Befürchtungen von Fachleuten, ein Schwarzes Loch entstehen, das sich über die Erde ausbreitet. Das wird sicher nicht auftreten - in der Realität. Wohl aber im Budget. Hier einige Zahlen:

- Der Speicherring (RHIC) kostet rund 600 Millionen Dollar.
- Die Haupt-Detektoren, welche das Teilchen-Wirrwarr aufzeichnen, STAR und PHENIX, kosten je 100 Millionen Dollar.
- Die benötigten Supercomputer kosten rund 7 Millionen Dollar.
- Dazu kommen Betriebs- und Personalkosten in unbekannter Höhe. Und der praktische und/oder theoretische Nutzen? Er ist gleich Null. Nicht einmal das Militär hat etwas von diesen Experimenten. Zur Welterklärung taugen die Erkenntnisse sowieso nicht. Denn, wie aus dem bisher Gesagten deutlich zu erkennen ist: Bei den 18 Quarks wird es nicht bleiben. Die Forscher entwickeln bereits neue Theorien, bei denen Quarks aus weiteren, noch kleineren Teilchen zusammengesetzt sind, aus Präonen, Somonen und Chromonen. Und dann geht's noch tiefer und tiefer und tiefer

...

Wozu also das Ganze? Dazu ein Zitat aus einem Artikel:

Forschung in der Teilchenphysik hat nur einen erkennbaren Zweck - sie dient der Unterhaltung von einigen wenigen hochbezahlten Wissenschaftlern, die Gefallen daran finden, Atome in kleinste Stücke zu schlagen.

Und weiter:

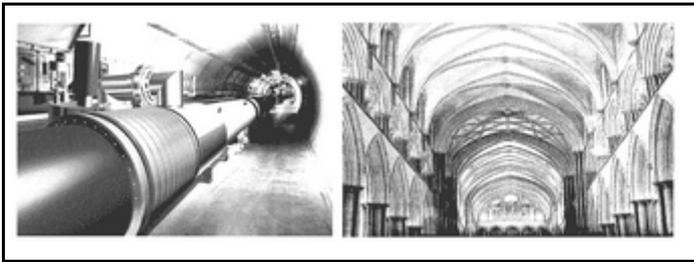
Die kolossal teuren Laboratorien der Teilchenphysik sind Monumente einer egoistischen, autokratischen Nutzlosigkeit, vergleichbar allenfalls dem Bau der Pyramiden durch die Pharaonen.

Der Artikel erschien in dem eher wissenschaftsfreundlichen Magazin DER SPIEGEL - im Jahr 1984!

Das renommierte Wissenschaftsblatt "Science" hat die Sache in einem Artikel über dieses Experiment kurz und zynisch so ausgedrückt:

Das Quark-Gluonen-Plasma wäre ein neues und aufregendes Spielzeug für die Physiker.

Das ist Wissenschaft - und wir zahlen dafür!



Moderne Kernforschungsanlagen werden mit mittelalterlichen Kathedralen verglichen - und die Kernforscher mit Hohepriestern. Genauso unzugänglich ist auch ihr Wissen - und genauso "orthodox"

Übrigens: Wussten Sie,

- dass Wissenschaftler aus aller Welt einen noch gewaltigeren Teilchenzertrümmerer planen? Er soll mehr als 6 Milliarden Dol-

lar kosten (nur der Bau; Unterhalt und Experimente verschlingen weitere Milliarden) und so stark sein, dass die Experimente an diesem Gerät von keinem anderen Gerät wiederholt werden können. Womit die Hauptvoraussetzung jeglicher wissenschaftlichen Erkenntnis, die Reproduzierbarkeit (Bestätigung oder Widerlegung durch andere Wissenschaftler) ersatzlos entfällt und die Wissenschaft endgültig zur Theologie mutiert.

- dass der schon erwähnte Nobelpreisträger *Sheldon Glashow*, Mit-Entdecker einer Theorie zur Vereinigung der elektromagnetischen Kraft mit der schwachen Kernkraft, die renommierte Harvard-Universität verließ und an die nahegelegene Boston University wechselte, obwohl deren Ruf sich nicht mit dem von Harvard vergleichen lässt? Grund: In Harvard herrschen nur noch die rein mathematisch orientierten String-Theoretiker, die die Welt mit "m-branes" und ähnlich mystischen Dingen ("m" steht ausdrücklich für "Mystik") in 9 bis 10 Dimensionen erklären wollen, bisher aber nur unverständliche Formeln produzierten. Andere Forschung auf dem Gebiet der theoretischen Physik gibt es in Harvard nicht mehr. Glashow über die String-Theorie:

Wie viele Engel können auf einer Nadelspitze tanzen? Wie viele Dimensionen hat eine kompakte Mannigfaltigkeit dreißig Größenordnungen kleiner als ein Stecknadelkopf? Werden all die jungen Doktoranden, nach jahrelanger Verschwendung ihrer Hirnkapazität auf String-Theorien, noch etwas anderes tun können, wenn die Fäden reißen?

- dass das Standard-Modell der Kernkräfte falsch ist? Ausgerechnet am Brookhaven National Laboratory des amerikanischen Energie-Ministeriums wurde unter Leitung von *Lee Roberts* (Universität Boston) das anomale magnetische Moment des Müons (eines schwergewichtigen Verwandten des Elektrons) gemessen. Die Auswertung der seit 1997 anfallenden Daten ergab: Das allgemein akzeptierte und angewandte Standard-Modell der Kernkräfte von *Richard Feynman* und anderen stimmt um einen Faktor von 2 nicht. Feynman beseitigte die Unstimmigkeiten bei der ma-

thematischen Behandlung des Elektrons (eines punktförmigen Gebildes) durch "virtuelle Teilchen" und zweifelhafte mathematische Tricks. Anstatt zu einem einfacheren Modell des Elektrons zurück zu kehren - z.B. zu dem bereits besprochenen Modell des ringförmigen Elektrons - erfinden die Physiker nun wieder endlos neue Teilchen aus der Theorie der "Supersymmetrie".

Gipfelerlebnisse oder Wie man durch Zauberei (eventuell) zu einem Nobelpreis kommt

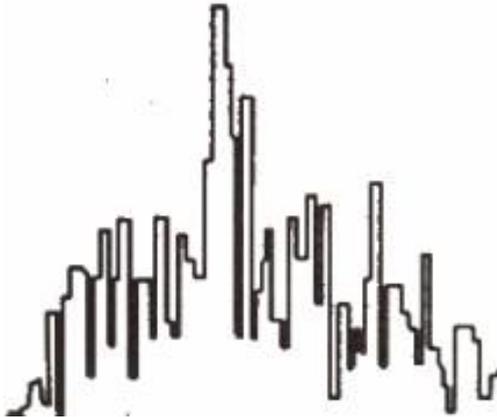
*Alles hat Formen, weil es Zahlen hat; nimm sie fort,
und alles wird zunichte. Frage, was im Tanz ergötzt,
antworten wird die Zahl: Siehe, ich bin's.
Augustinus*

Der Magier hat alles perfekt arrangiert. Das Pentagramm wurde mit Zirkel und Lineal gezogen, natürlich mit der eigens dafür vorbereiteten Kreide (sie musste bei einer ganz bestimmten Temperatur gebrannt werden). Die Zaubersprüche stammten vom Großen Meister persönlich, von *Hermes Trismegistos*. Mit Hilfe eines des Arabischen mächtigen Gelehrten hatte sie der Magier in einwandfreies Latein übersetzt, und ein Meister der Kabbala hatte ihm noch Tipps zur richtigen Betonung gegeben. Der Mond hatte die richtige Phase, alles war perfekt. So konnte die Besprechung, die Aussendung der Magie mittels des Zauberspruchs beginnen.

Und siehe da: Die Magie wirkte. Am nächsten Tag düngte der herbei gerufene Regen die trockenen Felder, die Macht der Magie hatte wieder mal gesiegt. Leider klappte es beim nächsten Mal nicht, und der Magier wusste auch warum: Er hatte beim Aufsagen der Formel einmal eine zu lange Pause gemacht und ein ander Mal das falsche Wort betont. Denn Magie funktioniert nur, wenn die Regeln exakt eingehalten werden.

Was hat das mit Kernphysik zu tun? Eine ganze Menge, wie Sie gleich merken werden. Denn jetzt erzähle ich Ihnen die Jagd nach einem neuen Elementarteilchen - und was dabei herauskam. Der Mann, der zehn Jahre einem Phantom hinter her jagte und Millionen von Dollars dabei verschwendete, war ein ganz gewöhnlicher Kernphysiker namens *Jack Greenberg*, kein Schurke, kein

Dummkopf, sondern einer wie viele andere auch. Nur dass er bei seiner Jagd nach dem Nobelpreis, pardon: nach einem neuen Elementarteilchen eben Pech hatte.



Peaks - die Geheimsprache der Kernforscher. Nur werden sie manchmal falsch interpretiert - und gelegentlich sogar fabriziert.

Dabei fing alles so gut an. Bei Experimenten am Teilchenbeschleuniger der "Gesellschaft für Schwerionenforschung" (GSF) in Darmstadt wurden die Energiezustände der beim Zusammenprall von Atomen wegspritzenden Bruchstücke gemessen. Dabei tauchte immer wieder ein Datengipfel auf (englisch "peak"), der darauf hinwies, dass ein einzelnes, bisher unbekanntes Teilchen vorliegen musste. Die Jagdsaison war eröffnet. Die Experimente in Darmstadt zogen sich von 1983 bis 1987 hin; sie ergaben manchmal die beobachteten (und gewünschten) Gipfel, manchmal auch nicht. Wenn nicht, so Greenberg, dann deswegen, weil *die Rahmenbedingungen der Versuchsanordnung nicht exakt eingehalten wurden*. Aha - kommt Ihnen das bekannt vor? Der Beschleuniger musste genau die richtige Energie haben, das Zielobjekt genau die richtige Dicke, die darauf aufprallenden Teilchen genau die richtige Geschwindigkeit und Masse. Weil bei diesem Zusammenprall Positronen (positiv geladene Elektronen) entstan-

den, und eine Theorie voraussagte, dass genau diese Teilchen entstehen müssten, wenn man "Axone" erzeugt, Bestandteile der "dunklen Materie", die sehr viel erklären würde - eben deswegen waren die Experimente so interessant. Ein zweites Team, das die Experimente wiederholte, fand ebenfalls Datengipfel, aber an anderer Stelle.

Doch dann nahm die Entwicklung zwei getrennte Wege. Greenberg fand immer schärfere Gipfel, was die Existenz eines echten neuen Teilchens für ihn immer wahrscheinlicher machte. Aber andere Forscher an anderen Teilchenbeschleunigern fanden nichts. Neue Versuchsanordnungen wurden gebaut, neue Beschleuniger ausprobiert. 1995 schließlich, mehr als zehn Jahre nach den ersten Gipfelsichtungen, wurde die Sache ad acta gelegt.

Aber wie war Greenberg zu seinen Daten gekommen? Sehr simpel, wie der Physiker *Rudi Ganz* (University of Illinois) durch Berechnungen erkannte. Man muss nur dort, wo durch zufällige Fluktuationen ein kleiner Datenhügel entsteht, die Datenmenge weiter teilen. Man nimmt immer jenen Teil, wo - wieder durch Zufall - die Daten ein wenig höher liegen als links und rechts davon. So kommt man durch ganz einfache Datenmanipulation auf fantastische statistische Korrelationen - die es nicht gibt.

Armer Greenberg. Immerhin, ein ganz klein wenig haben einige Physiker daraus gelernt. Sie schlugen vor, **Doppelblindversuche** (die in Psychologien und Medizin üblich sind) auch in der Kernforschung einzuführen.

Denn praktisch jeden Monat wird ein neues Elementarteilchen entdeckt - angeblich. Die meisten dieser Entdeckungen sind Fantasieprodukte karrieregeiler Forscher. Um dem vorzubeugen, hat der Kernforscher *Eric Prebys* vom Princeton Institut auch für Physiker vorgeschlagen, was in der Medizin selbstverständlich ist: Doppelblindversuche. Dabei werden Zufallsdaten unter die gemessenen Daten gemischt, und die Physiker wissen nachher nicht, welches die verfälschten und welches die Originaldaten

sind. Aber alle Daten müssen veröffentlicht werden. Die ersten Ergebnisse liegen vor - und zeigen ein ernüchterndes Bild vom Forscherdrang der Physiker.

Allein die Rechtfertigungen erstaunen. So heißt es zur Erklärung des Quark-Gluonen-Plasmas: "Unter Benutzung einer theoretischen Abschätzung des Beitrags des durch die schwache Kernkraft bedingten Achsenstroms ergibt sich der Anteil des auf seltene Quarks rückführbaren magnetischen Moments signifikant positiv, entgegen den meisten theoretischen Modellen."

Bei der Messung einer für den Zerfall von Materie und Antimaterie wichtigen Konstante namens "Sinuszweibeta" ergibt sich ein theoretischer Wert zwischen 0,5 und 0,85. Tatsächlich ergaben Messungen sogar negative Werte, was nicht sein darf. Also ist die Theorie falsch, und die Physiker müssen sich wieder was Neues einfallen lassen. Ohne die Versuchsanordnung (Ergebnisse müssen publiziert werden), wären diese Resultate unter den Tisch gekehrt worden - wie so oft bisher.

Wie zum Beispiel beim Higgs-Boson. Dies ist so eine Art Erlöserteilchen, das alles erklären soll. Bereits in den frühen Achtzigerjahren wurde es im Kernzertrümmerer DESY in Hamburg gesichtet. 1990 trug man es zu Grabe, doch Forscher an einem der Kernzertrümmerer in CERN haben "Gottes Teilchen" (ein Ausdruck des Nobelpreisträgers Leon Ledermann, allerdings für das Neutrino) zehn Jahre später wieder gesichtet. Aus Tausenden von "events" (Teilchenbahnen) erwählten sie drei, die unter Umständen eventuell vielleicht bei sehr großzügiger Interpretation als Hinweise auf das flüchtige Teilchen gedeutet werden könnten. Entdeckt wurden die Spuren durch ein Computerprogramm mit dem bezeichnenden Namen BEHOLD, was ein Bibelwort ist und auf deutsch "Siehe!" bedeutet. Noch bezeichnender: Die "Entdeckung" geschah kurz vor der beschlossenen Schließung des Beschleunigers - und diese Schließung wurde im Anschluss an die "Entdeckung" aufgehoben. Das ist Wissenschaft - und dafür gibt's Milliarden!

Da juckt es mich in den Fingern festzustellen, dass im Horoskop des Higgs-Bosons (geboren am 16.7.1964 im Kopf des Physikers Higgs) die Sonne im Sextil zu Jupiter steht (was viel Erfolg bedeutet) und der Merkur im Quadrat zu Neptun (was auf trügerische Ideen hinweist). Sie glauben nicht an die Sterne? Aber an das Higgs-Boson glauben Sie?

Einige Beispiele für Teilchen-Chimären:

Phänomen	Wann & wo	was daraus wurde
Neutrinomasse	1980, Univ. of California Irvine; 1985, Univ. of Guelph (Kanada); 1990, Lawrence-Berkely-Lab. In Kalif.	wird weiter geforscht, ca. alle fünf Jahre "bestätigt"
Higgs-Boson	1980, DESY (Hamburg); 1984 ("Zeta-Teilchen"), SLAC, Palo Alto, Kalif. 2000, CERN	ständig neu-entdeckt. Die entsprechenden Programme trugen Namen wie "Kristallkugel" oder "Siehe!"
Freies Quark	1981 Stanford Univ., Palo Alto	nicht bestätigt
Magnetischer Monopol	1982, Stanford Univ.	nicht bestätigt
Monoströme	1984, CERN	nicht bestätigt, aber Hunderte theoretische Rechtfertigungen
Top Quark	1984, CERN	nicht bestätigt
Axion (Be-	1985, GSI (Darm-	verschwunden

standteil der "dunklen Materie")	stadt) u.a.	
Antigravitation	1986, <i>Fischbach</i> , Purdue Univ.	widerlegt
Doppelter Betazerfall	1987, Univ. of South Carolina	Unbestätigt
Gluonenplasma (seltsame Quarks)	2001, CERN	bisher nichts

Literatur

Beller, Mara: *Quantum Dialog. The Making of a Revolution*. Univ. of Chicago Press 1999

Bohm, David; Hiley, Basil: *The Undivided Universe*. Routledge, London 1993

Jammer, Max: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. American Institute of Physics, New York 1989

Gardner, Martin: *The Guided Wave Theory of Louis de Broglie and David Bohm*. Skeptical Inquirer May/June 2000, p. 9-14

Maddox, John: *Licence to slang Copenhagen?* NATURE, Vol. 332, 14. April 1998, p. 581

Panarella, E.: *Quantum Uncertainties*. Plenum, New York 1987

Resag, Jörg: *Das Unteilbare*. <http://home.t-online.de/home/joerg.resag/mybkhtml>

Ringmodell des Elektrons: <http://www.commonssensescience.org/>

Taubes, Gary: *The One That Got Away?* Science Vol. 275, 10.
Jan. 1997, pp. 148-151

Thompson, Caroline: *What Really Happens in Bell Correlation Experiments?* Infinite Energy Issue 35, 2001 p.53-57+70
<http://www.aber.ac.uk/~cat>

Wesley, James Paul: *Causal Quantum Theory*. Benjamin Wesley,
78176 Blumberg, Weiherdammstr. 24, 1983

Wesley, James Paul: *Classical Quantum Theory*. Benjamin Wesley,
78176 Blumberg, Weiherdammstr. 24, 1996

Wesley, James Paul: *Selected topics in scientific physics*. Benjamin
Wesley, 78176 Blumberg, Weiherdammstr. 24, 2002

Zewail, Ahmed H.: *The fog that was not*. NATURE Vol 412, 19 July
2001, p. 279