

Helmut Fink (Nürnberg)

Die Quantentheorie und der liebe Gott

Eine Absage an theologische und esoterische Annäherungsversuche gegenüber der modernen Physik

„In der Physik steckt keine Religion.“ (Hans-Dieter Mutschler¹)

„Aber faktisch ist es immer noch so, daß ein bestimmtes religiöses Verständnis, ein Gottesbild vorausgesetzt wird, wenn man sich auf Naturwissenschaft einläßt.“ (Klaus Michael Meyer-Abich²)

„Die Stärke der Physik liegt ja genau darin, daß sie Ergebnisse objektivieren und ablösen kann von weltanschaulichen Voraussetzungen.“ (Hans-Dieter Mutschler³)

„Das, was wir wirklich erleben, bringt uns dem Göttlichen viel näher als das, was wir mit Apparaten messen. Die naturwissenschaftliche Außensicht ist dafür viel zu banal.“ (Hans-Peter Dürr⁴)

„...es könnte durchaus sein, daß Jenseitsvorstellungen und der Glaube an die Auferstehung bloß Illusionen sind...“ (Franz M. Wuketits⁵)

1 Einleitung und Fragestellung

Um es gleich zu Beginn vorwegzunehmen: Die beiden im Haupttitel dieses Beitrags genannten Kulturleistungen des Menschen haben sachlich nichts miteinander zu tun. Da jedoch in der Vergangenheit immer wieder gegenteilige Mutmaßungen auch von einflussreichen Autoren angestellt worden sind und bis in die Gegenwart angestellt werden, mag eine Gegenüberstellung von Physik und Metaphysik im Bereich der Quanten hilfreich sein.

Die Physik des 20. Jahrhunderts ist von zwei großen Revolutionen erschüttert worden und gestärkt aus ihnen hervorgegangen: erstens der Revolution durch die Relativitätstheorie und zweitens der Quantenrevolution. Die Relativitätstheorie formuliert die Naturgesetze unter konsequenter Gleichberechtigung aller Bezugssysteme, d.h. aller möglichen Bewegungszustände eines (gedachten) Beobachters der physikalischen Phänomene. Räumliche und zeit-

liche Abstände (und daher auch die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse) hängen vom Bezugssystem ab (und sind in diesem Sinne „relativ“), die Lichtgeschwindigkeit jedoch nicht. Träge und schwere Masse sind äquivalent, Raumzeitstruktur und Massenverteilung gekoppelt, die Gravitation auf rein geometrische Begriffe zurückführbar. Die Objektivität der physikalischen Welt wird dadurch nicht in Zweifel gezogen, sondern im Gegenteil in größerer Allgemeinheit und Eleganz neu erschlossen.

Für die Relativitätstheorie ist das unter Fachleuten unstrittig und kann auch in populären Darstellungen nachgelesen werden⁶. Sprüche wie „alles ist relativ“ oder die Inanspruchnahme der Physik für einen sozialphilosophischen oder moralischen Relativismus sollten heute selbst in Partygesprächen mit Ansehensverlust verbunden sein. – Und die Quantentheorie? Ihr werden allerlei für eine physikalische Theorie höchst erstaunliche Konsequenzen

zen unterstellt: Die Natur sei nicht exakt beschreibbar, Teilsysteme seien nicht voneinander trennbar, Phänomene nicht unabhängig von ihrem Beobachter, überhaupt hänge alles mit allem zusammen, und eine objektive Realität gebe es eigentlich gar nicht...

In der Tat ist sowohl die mathematische Struktur als auch die Interpretierbarkeit der Quantentheorie deutlich verschieden von der gesamten klassischen Physik (einschließlich Relativitätstheorie). Da die Quantentheorie⁷ zugleich fundamentalen Charakter hat (sie beschreibt drei der vier physikalischen Grundkräfte, ist im gesamten Mikrokosmos anwendbar, ist Grundlage der Chemie, der Festkörperphysik, des Lasers etc.), ist die Rede von einer „Revolution des physikalischen Weltbildes“ keineswegs zu hoch gegriffen. Es ist daher grundsätzlich auch sehr zu begrüßen, dass die Frage, was uns die Quantentheorie über den Aufbau der Welt sagt, in zahlreichen populären Veröffentlichungen behandelt wird und weit über die Fachkreise der Physiker hinaus Interesse findet.

Leider sind aber wesentliche Aspekte der Interpretation der Quantentheorie (nicht ihres Formalismus, auch nicht seiner Anwendung!) nach wie vor umstritten – auch unter Fachleuten physikalischer und philosophischer Provenienz⁸. Zudem wirken einseitige Vorlieben und unglückliche Formulierungen einiger „Gründerväter“ der Quantentheorie bis heute nach. Beides strahlt auf die populäre Literatur aus. Vor diesem Hintergrund ist es nachvollziehbar, dass viele Menschen mit Weltbildinteresse einer angeblichen Annäherung von Physik und Transzendenz (bis hin zu dem Bestreben, Gott in der Quantenwelt unterzu-

bringen) und einer esoterischen Ganzheitsvorstellung im Gewande der modernen Physik (bis hin zu der Behauptung, am Grund der Wirklichkeit seien geistige Beziehungen statt materieller Strukturen) wenig entgegenzusetzen haben. Solche Vorstöße können daher mit dem Gestus, das klassische Weltbild des 19. Jahrhunderts endlich zu überwinden, immer wieder eine gewisse Breitenwirkung entfalten.

In diesem Beitrag ist lediglich die schlaglichtartige Behandlung einiger typischer Behauptungen möglich, und auch dies nur anhand exemplarischer Literatur. Hierzu wird vor allem der einflussreiche Dokumentationsband der sogenannten Toskana-Gespräche „Gott, der Mensch und die Wissenschaft“ (Pattloch, 1997) sowie der Gesprächsband „Wir erleben mehr als wir begreifen“ (Herder, 2007) herangezogen.

Generell ist bei Weltbildaussagen mit theophilem oder esoterischem Hintergrund im Dialog mit der Naturwissenschaft zu unterscheiden, ob wirklich der Inhalt spezieller naturwissenschaftlicher Erkenntnisse (hier: der Quantentheorie) zugrunde liegt oder ob nicht vielmehr Aussagekraft und Reichweite des naturwissenschaftlichen (hier: des physikalischen) Erkenntnisprozesses schlechthin angesprochen sind. Mit besonderer Skepsis sollten Behauptungen begutachtet werden, dass ersteres auf letzteres durchschlage. Denn die lückenlose Beschreibbarkeit und Erklärbarkeit der objektiven Außenwelt durch die messenden Naturwissenschaften, mithin die kausale Geschlossenheit der Welt und ihre rein naturalistische – also immanente – Deutung ist schon immer das zentrale Angriffsziel transzendenter Vorstöße gewesen.

Oft wird argumentiert, die Methode des physikalischen Erkenntnisgewinns begrenze von vornherein dessen Gehalt und Relevanz. Drei typische Gründe sind:

1. Die Idealisierung der beschriebenen Phänomene (seit Galilei), ihre experimentelle Zurichtung und die zunehmende Technisierung der Beobachtungssituation führen weg von der „unberührten Natur“ und schaffen Distanz zur Alltagswelt.
2. Analytisches Vorgehen, gedankliche und experimentelle Zerlegung in kleinste Bestandteile, begrifflich wohldefinierte Sprache und reduktionistisches Erklärungsideal blenden verbindende Zusammenhänge aus und können übergreifende Ebenen eines Phänomens nicht erfassen.
3. Die Fixierung auf Reproduzierbarkeit und Objektivität verhindert die Erfassung individueller, subjektiver und wertender Aspekte von Phänomenen. Methodischer Naturalismus macht blind und taub für das Wirken des Geistes und die Erfahrung von Transzendenz.

Die allgemeine Auseinandersetzung mit diesen methodischen Einwänden gegen einen universellen Physikalismus können wir hier nicht führen. Wir belassen es daher bei der Feststellung, dass die Methodik der Physik das Ziel der Erfassung von objektiv Vorhandenem perfekt widerspiegelt und die exaktesten und verlässlichsten Aussagen über empirisch Zugängliches hervorgebracht hat, die Menschen heute machen können. Die Physik verfeinert die Alltagserfahrung und widerspricht ihr nicht. Sie erlaubt emergente Phänomene und höhere Systemeigenschaften. Aber geistiges Erleben hat immer einen materi-

ellen Träger, der den Gesetzen der Physik gehorcht.

Die spezielle Auseinandersetzung mit überzogenen Interpretationsaussagen zur Quantentheorie soll nicht nur deren spekulativen Charakter offenlegen und andere Sichtweisen dagegenstellen, sondern auch den „wahren Kern“ der jeweils kritisierten Aussagen identifizieren. Dies erscheint aus Gründen der Entzauberung, aber auch aus Gründen der Fairness geboten. Denn die Teilnehmer an den Toskana-Gesprächen waren allesamt gebildete Männer, die ihren Metaphysik-Überschuss nicht wahllos erfunden haben.

2. Unschärfe und Zufall

Erkenntnisfortschritt und Erklärungsleistung der Quantentheorie beruhen darauf, dass sie ein anderes Bild vom Verhalten der Materie in mikrokosmischen Dimensionen liefert als die klassische Physik, und deren Gesetze nicht einfach in die Welt des Allerkleinsten fortschreibt. Zu den beliebtesten populären Irrtümern gehört dabei die Vorstellung, dass man im atomaren und subatomaren Bereich keine präzisen Aussagen mehr machen könne: *„Man ging davon aus, daß alles Geschehen kausal und nach den Gesetzen der Mechanik erklärbar ist. Aber im atomaren Bereich erweisen sich heute diese Zusammenhänge als lose und ungenau, wie die Quantenphysik zeigte.“*⁹

Die Quantenphysik gestattet die Berechnung und Manipulation des Verhaltens der Materie mit einer Anwendungsgenauigkeit wie noch keine Theorie vorher. Der wahre Kern obiger (und ähnlicher) Behauptungen liegt darin, dass die Quantentheorie dabei im allgemeinen nur Wahrschein-

lichkeitsaussagen für mögliche Messwerte macht und nicht etwa einen bestimmten Messwert sicher voraussagt. Jedem Quantensystem kann ein Zustand zugeordnet werden (im einfachsten Fall repräsentiert durch einen Vektor der Länge 1 im zugehörigen Zustandsraum), aus dem sich die Wahrscheinlichkeiten aller erzielbaren Messwerte für alle denkbaren Messgrößen (Observablen) dieses Systems präzise berechnen lassen. Solange keine Messung gemacht wird, gilt für den Zustandsvektor eine streng deterministische Zeitentwicklung (im nicht-relativistischen Fall mathematisch ausgedrückt durch die berühmte Schrödinger-Gleichung). Kennt man also den Zustand eines Quantensystems zu einem Zeitpunkt, dann kennt man ihn auch zu späteren Zeiten – vorausgesetzt es findet keine Messung statt.

Messungen jedoch ändern diesen Zustand un stetig (im einfachsten Fall durch eine Projektion des Zustandsvektors auf eine neue Richtung). Hier zeigt sich der Indeterminismus der Quantenphysik: In einem einzelnen Versuchsdurchgang ist vorher nicht klar, welcher Wert gefunden wird. Und zwar nicht nur aus Unkenntnis des Experimentators oder – wie in der Chaostheorie¹⁰ – wegen großer Auswirkungen kleiner Unterschiede im Anfangszustand, sondern aus prinzipiellen Gründen: Die Messgröße *hat* vor der Messung keinen Wert, der bloß entdeckt zu werden bräuchte – sondern dieser Wert *entsteht* erst bei der Messung!

Die Wahrscheinlichkeiten in der Quantentheorie erlauben somit, anders als die Wahrscheinlichkeiten in der klassischen Physik, keine „Unkenntnisinterpretation“. Sie quantifizieren nicht subjektive Unkenntnis,

sondern objektive Unbestimmtheit. Der Zufall in der Quantentheorie beruht, anders als der Zufall im Alltagsleben, nicht auf einer verborgenen kausalen Vorgeschichte, sondern auf deren Fehlen: Es ist ein primärer, ein ontischer Zufall.

Diese Durchbrechung des lückenlosen Determinismus der klassischen Physik ist eine fundamentale naturphilosophische Erkenntnis. Sie wurde zum Ansatzpunkt diverser weiterer Überlegungen. Die menschliche Willensfreiheit schien manchen durch die Quantentheorie gerettet. Doch unterdessen hat sich weitgehend die Auffassung durchgesetzt, dass der (im Einzelfall) blinde Zufall der Quantenphänomene wenig beiträgt zum Verständnis von Willensentscheidungen, die auf Gründen oder Neigungen, also jedenfalls auf einer determinierenden Vorgeschichte des Individuums beruhen, und von diesem daher als „frei“ erlebt werden. Freiheit und Zufall sind eben zwei verschiedene Dinge¹¹.

Ein naheliegendes theologisches Interesse verbindet sich mit dem Abschied von der Vorstellung des Universums als klassisches Uhrwerk. Gott schien seit dem Urknall zur Arbeitslosigkeit verdammt. „*Dagegen sagt die Quantenphysik, daß die Schöpfung nicht nur am Anfang stattfindet, sondern die ganze Entwicklung in der Welt eigentlich aus fortwährenden Schöpfungsakten besteht. Ein Quantenphysiker sieht den Schöpfungsakt deshalb als etwas an, was dauernd stattfindet. Ich brauche dafür nicht zum Urknall zurückzugehen. Andauernd entsteht und vergeht etwas, es gibt Erzeugungs- und Vernichtungsprozesse am laufenden Band. Warum sollte man also Schöpfung nur am Anfang annehmen?*“¹²

Nun müssen sich die Gläubigen überlegen, wie attraktiv sie ein Gottesbild finden, bei dem sich Gott strikt an die Statistik halten muss, die der jeweilige Quantenzustand vorschreibt. Die Wahrscheinlichkeitsaussagen der Quantentheorie sind nämlich empirisch prüfbar: Wenn das Quantensystem immer wieder im selben Zustand präpariert und dann dieselbe Observable gemessen wird, müssen sich die relativen Häufigkeiten der verschiedenen gemessenen Werte ihren jeweils vorausgesagten Auftretenswahrscheinlichkeiten annähern. Ein Mogen oder eine Vorliebe Gottes würde auf Dauer also auffallen. Der Theologe, Philosoph und Physiker Hans-Dieter Mutschler antwortet denn auch prompt: „*Unter ‚schöpferisch‘ verstehe ich die Entstehung des Neuen. Aber was entsteht physikalisch gesehen? Doch nur dasjenige, was ich aus meinen Gleichungen ableiten kann. Und das ist ja gerade nicht das Schöpferische, sondern das Wiederholbare.*“¹³

Der Quantenzustand nach einer Messung hängt vom Messergebnis ab. Angesichts des indeterministischen Geschehens beim Messprozess sind das jeweilige Messergebnis und der zugehörige „Quantenzustand danach“ vorher möglich, aber nicht notwendig, also kontingent. Schon in der klassischen Physik waren Theologen an solchen kontingenten Elementen der Naturbeschreibung interessiert: „*Wir können vielleicht Anfangsbedingungen aus einem größeren System ableiten, und dann entstehen wieder Anfangsbedingungen, die kontingent sind, also zufällig, nicht notwendig. Wir können die Anfangsbedingungen verschieben, aber das Problem ist damit nicht aus der Welt. An irgendeiner Stelle entsteht genau wieder dieses Problem der Kontingenz...*“¹⁴

Der Theologe Wolfhart Pannenberg führt aus: „*Geschehenskontingenz (...) läßt sich angesichts der quantenphysikalischen Unbestimmtheit als Grundcharakter jedes elementaren Ereignisses behaupten*“¹⁵. Er sieht darin eine gemeinsame Basis für das Gespräch zwischen Theologie und Naturwissenschaft. Aber natürlich ist die Abzweigung zu Gott hier keineswegs zwingend, und so stellt der Naturphilosoph Klaus Michael Meyer-Abich nüchtern fest: „*...dafür brauchen wir nicht die Theologen, sondern das können wir getrost kontingent lassen.*“¹⁶

Besonders phantasieanregend scheint die Offenheit der Zukunft zu sein. Pannenberg meint: „*...die Welt entsteht jeden Augenblick neu, wie es Herr Dürr ausgeführt hat. Und an dieser Stelle berühren sich christlicher Schöpfungsglaube und moderne Physik. Das scheint mir eine hinreichend gesicherte Aussage zu sein. Die Welt entsteht jeden Augenblick neu. Diese Erkenntnis hat das Verhältnis von Naturwissenschaft und Theologie tief verändert, weil der Determinismus überwunden ist. Es ist deshalb nicht der Indeterminismus in dem alten Sinne bestätigt, als ob es da Lücken gibt, sondern das Ganze ist sozusagen eine Lücke.*“ – Darauf Dürr: „*Ich würde es genauso ausdrücken. Das Korsett der fest determinierten Voraussage ist durchbrochen worden. Die Zukunft ist offen.*“¹⁷

Dem letzten Satz kann man nur zustimmen (wie schon Popper wusste). Bei Pannenberg steckt jedoch mehr dahinter: „*Der Schlüssel für den Zusammenhang von Ewigkeit und Zeit liegt (...) bei der Bedeutung der Zukunft für das Verständnis des zeitlich Existierenden. Durch die*

*Zukunft tritt die Ewigkeit in die Zeit ein. Aus der Zukunft gehen immer wieder neue, kontingente Ereignisse hervor; und andererseits kann alles Existierende nur aus der Zukunft die mögliche Ganzheit seines Daseins erwarten und empfangen. Alle Dinge gehen dem Reiche Gottes entgegen, aber Gottes Herrschaft wirkt auch immer schon aus seiner Zukunft in die Gegenwart seiner Geschöpfe hinein.*¹⁸ Dazu schweigt die Quantentheorie.

Quantenobjekte sind weder Wellen noch Teilchen. Je nach experimenteller Anordnung können sie gewisse Merkmale beider zeigen – aber in Strenge geht die Frage nach derart klassischen Bildern ins Leere. Denn ein Quantenobjekt verfügt nicht über die festen Werte klassischer Messgrößen, die solche Bilder erst rechtfertigen. Die Anschauung zur Erschließung der Quantenwelt sollte sich daher eher auf die mathematischen Funktionen beziehen, die im Formalismus wichtig sind. Und in der Tat lassen sich Quantenzustände, oben abstrakt als Vektoren eingeführt, durch Funktionen darstellen (auch Funktionen können nämlich einen Vektorraum bilden; die Mathematik handelt als Strukturwissenschaft nicht vom Wesen der Dinge, sondern bloß von ihren gedanklichen Verknüpfungen). Aus solchen „Wellenfunktionen“ kann man dann leicht die Wahrscheinlichkeit bestimmen, dass sich das zugehörige Quantenobjekt bei Messung in einem bestimmten Gebiet zeigt.

Nun bieten sich Begriffe wie „Welle“ und „Schwingung“ (ähnlich wie „Kraft“, „Energie“ und „Feld“) für pseudowissenschaftlichen Missbrauch und esoterische Verfremdung an, und es ist nicht immer leicht zu sagen, wo die Grenze von hin-

führenden physikalischen Veranschaulichungen zu irreführenden metaphysischen Anschauungen überschritten wird. Hans-Peter Dürr erklärt: *„Es kann einem ja komisch vorkommen, dass man die Welle so wichtig nimmt. Aber in der Schwingungsmetapher steckt etwas ganz Tiefes. Es hat nämlich damit zu tun, dass die Welt, die wir begreifen, die normale Logik hat des Entweder/Oder, Ja oder Nein, Null oder Eins, Richtig oder Falsch. Ein Drittes gibt es nicht. (...) Die Schwingung ist eine Metapher für eine andere Logik. Sie sagt, es gibt im Grunde nicht das Entweder/Oder, sondern ein Sowohl-als-auch. Und die Schwingung symbolisiert das Sowohl-als-auch. Die Welle ist etwas, das zwischen allen Möglichkeiten hin- und herpendelt.*¹⁹

Man kann das schon richtig verstehen – aber nur, wenn man die Quantentheorie schon kennt: Wellenfunktionen führen bei der Berechnung von Wahrscheinlichkeiten bei zwei möglichen Zwischenzuständen (etwa: Quantenobjekt geht bei Doppelspalt durch Spalt 1 *oder* durch Spalt 2) zu Interferenztermen, die das Bild auf dem Schirm beeinflussen und so verhindern, dass man dem Quantenobjekt „1“ oder „2“ zuschreiben kann. Fakten („Entweder/Oder“...) liegen erst nach einer Messung vor, nicht vorher.

„Das Wellenbild, das Schwingungsbild, ist das, was übrig bleibt, wenn wir alle begreifbaren Vorstellungen als untauglich hinter uns gelassen haben. Am Grunde der Wirklichkeit finden wir eine mathematisch präzise formulierbare Unbestimmtheit, die wir uns unter dem Schwingungsbild vorstellen. Diese schwingende Unbestimmtheit ist eine physikalische

Wirklichkeit. ²⁰ Mit anderen Worten: Quantenzustände sind fundamental. Aber das kann man auch ohne Mystifizierung der periodischen Zeitabhängigkeit ihrer verschiedenen Energie-Komponenten (= Schwingungen) sagen. Dürrs Gesprächspartnerin („*In mir breitet sich ein leicht verschwommenes Gefühl aus*“) wird jedoch weiter belehrt: „*Die wesentlichen Konsequenzen der neuen Betrachtungen sollten für alle, auch den Nichtphysiker, sein, dass wir Wahrnehmungen zulassen, die von einer allgemeineren Art sind als die, an die wir uns durch unsere objektive Sprechweise gewöhnt haben*“²¹, bis sie schließlich selbst reformuliert: „*Diese Entweder/Oder-Welt ist aber nicht die eigentliche. In dieser, der eigentlichen Wirklichkeit, die allem zu Grunde liegt, gilt: etwas ist zugleich es selbst und, in je gewisser Hinsicht, auch sein Gegenteil.*“²²

Die Quantenwelt ist anscheinend voller Wunder, und Dürr legt nach: „*Wir betrachten ja Tod und Geburt als etwas völlig Verschiedenes. Man müsste aber sagen, in einem höheren Raum ist beides nur in einer anderen Schwingung. Das Geschehen ist eigentlich immer positiv, aber in einer anderen Richtung orientiert.*“²³ Wahr ist, dass einander ausschließende Möglichkeiten zueinander senkrechten Richtungen im quantentheoretischen Zustandsraum entsprechen (in dem die oben erwähnten Zustandsvektoren liegen). Und wahr ist auch, dass die Quantentheorie im Prinzip alle „Zwischenrichtungen“ für Zustandsvektoren erlaubt: Sie entsprechen sogenannten Überlagerungszuständen (Superpositionen).

Aber abgesehen vom leichtsinnigen (oder gar bewussten?) Umgang mit den Assoziationen der Leser wäre es hier sachlich geboten, auf die Nichtnachweisbarkeit solcher Überlagerungszustände für komplexe makroskopische Systeme hinzuweisen. Für solche Systeme hat quasi eine Messung immer schon stattgefunden, ist die Entscheidung immer schon gefallen. Das berühmte Gedankenexperiment von Schrödingers Katze²⁴ dient genau dazu, die Absurdität solcher Überlagerungen in unserer Lebenswelt zu illustrieren: Leben und Tod sind und bleiben „etwas völlig Verschiedenes“ – sie sind einander ausschließende Fakten. Ein Quantenzustand, der alle Bestandteile eines Lebewesens detailliert beschreiben würde, könnte bestenfalls Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten dieser beiden verschiedenen Möglichkeiten liefern. Aber er könnte faktische Entscheidungen der Natur nicht aufhalten.

3 Verschränktheit und Universalität

Die Vorstellung, dass ein untersuchtes System oder gar die ganze Welt eine Ganzheit sei, die man nicht – gedanklich oder real – in Teile auftrennen könne oder dürfe, nennt man *Holismus*. Sind die untersuchten Systeme Lebewesen, so leuchtet das zunächst ein: „*Wenn wir Lebendes zertrümmern, geht uns Wesentliches verloren. Man kann zwar hineingucken, aber es lebt nicht mehr.*“²⁵ Doch auch für unbelebte Gegenstände meint Hans-Peter Dürr: „*Selbstverständlich (...) geht etwas kaputt, weil in der Welt, von der wir Kenntnis haben, das Ganze immer mehr ist als die Summe der Teile.*“²⁶ An anderer Stelle sagt er zur Entwicklung des Lebens auf der Erde: „*...ich vertrete als Physiker die Auffassung, daß es – gemäß der Quantenmechanik – das freie Spiel eigentlich gar*

nicht gibt, weil die Wirklichkeit eine unauflösbare Ganzheit ist.“²⁷ Und über uns Menschen weiß er zu berichten: „*Wir sind (sic!) eine gewachsene Komplexität, die davon Gebrauch macht, dass alle Dinge mit allen zusammenhängen und dass wir in Strenge und auf Dauer nichts Isoliertes machen können.*“²⁸

Das zerlegende Herangehen, die analytische und reduktionistische Methodik scheinen an ihre Grenzen zu stoßen. Im Gespräch mit Theologen erklärt Dürr: „*Wir trennen, machen Unterscheidungen, analysieren und fragen dann, wie das zusammenhängt. Dafür führen wir dann Wechselwirkungen ein. So haben wir die Vorstellung, daß die Wirklichkeit zerlegbar ist, daß wir Komplexes auf Einfaches reduzieren können. Das ist ein gewaltsamer Prozeß, der den Gegenstand isoliert. Diese Anschauung ist der vernetzten Ganzheit nicht angepaßt. Und ich wüßte nicht, wie bei diesem Prozeß je etwas auftauchen sollte, was Gott entspricht.*“²⁹ Die Quantentheorie verheißt ihm hier Abhilfe: „*Denn in der neuen Naturwissenschaft, in der Quantenphysik, ist der Gedanke vorherrschend, daß alles mit allem zusammenhängt. Aber wo es nichts Abgetrenntes gibt, kommt man zu einem anderen Gottesbild.*“³⁰

Bleiben wir statt beim Gottesbild beim Weltbild der Quantentheorie: Was ist dran am Quanten-Holismus? Die Quantentheorie erlaubt, wie jede ordentliche Theorie, die gedankliche Zusammenfassung mehrerer Systeme und die Konstruktion von Zuständen dieses zusammengesetzten Systems aus den Zuständen seiner Teile. Eine Besonderheit der Quantentheorie besteht allerdings darin, dass der Zustand

des zusammengesetzten Systems keineswegs eindeutig aus den Zuständen der Teile hervorgeht. Zwar kann man bei gegebenem Gesamtzustand jedem Teil einen (sog. reduzierten) Zustand eindeutig zuordnen, aber umgekehrt muss der Gesamtzustand nicht das (Tensor-)Produkt der Teilstände sein. (Gesamt-)Zustände, die das nicht sind³¹, heißen *verschränkt*. Verschränkte Zustände³² zeigen stärkere Korrelationen zwischen den Teilsystemen, als es klassisch möglich wäre. Das kann man nachmessen. Insofern ist hier das „Ganze“ tatsächlich mehr als die „Summe“ (oder genauer: das Produkt) seiner Teile.

Quantenmechanische Wechselwirkungen führen sehr leicht zu Verschränktheit zwischen verschiedenen Systemen. Verschränkte Zustände sind der Normalfall und nicht die Ausnahme in der Quantentheorie. Ihre wohl berühmteste Anwendung liegt im „EPR-Paradoxon“ von Einstein, Podolsky und Rosen vor, das die Unvollständigkeit der Quantentheorie zeigen sollte, tatsächlich aber nur die Voraussagemöglichkeiten von Quantenkorrelationen illustriert.

Auch bei Ansätzen zu einer „Quantentheorie der Messung“ spielen verschränkte Zustände eine zentrale Rolle, allerdings dort nicht zwischen gleichartigen Teilsystemen, sondern zwischen Messobjekt und Messapparat. Diese Ansätze scheitern jedoch letztlich alle, und daraus kann man für unser Thema etwas lernen.

Das Ziel einer „Quantentheorie der Messung“ besteht darin, die unstetige Zustandsänderung des Quantensystems bei der Messung und die Entstehung eines Messwerts am Apparat durch rein quan-

tenmechanische Wechselwirkung zu erklären und dem „Akt der Messung“ damit die Sonderstellung im Naturgeschehen zu nehmen, die ihm nach der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie zukommt. Jedoch lässt sich auch in einem höherdimensionalen Zustandsraum (nach Ankoppeln weiterer Teilsysteme bis hin zu etwa einem Zeiger des Apparats) die unstetige Projektion des Zustandsvektors auf eine bestimmte Richtung (verbunden mit der Entstehung eines Messwerts) nicht auf eine stetige Drehung (deterministische Zeitentwicklung) dieses Zustandsvektors zurückführen.

Zwar gewährleistet der entstehende verschränkte Zustand aller beteiligten Teilsysteme eine perfekte Korrelation zwischen der Zeigerstellung des Apparats und der Messgröße am Quantenobjekt, aber dass eine Zeigerstellung (bzw. ein Messwert) am Ende wirklich vorliegt, das sagt der Quantenzustand nicht. Das Vorliegen von Fakten kommt aus der Quantentheorie nicht heraus. Das muss man hineinstecken.

Hält man sich an die Minimalinterpretation von Zustandsvektoren, dann ist das eigentlich gar keine Überraschung: Der Zustand dient der Wahrscheinlichkeitsvoraussage möglicher Messwerte in einer Situation, in der diese noch nicht vorliegen. Die ganze Ankopplei weiterer Teilsysteme ändert an dieser Interpretation gar nichts – sie vergrößert nur das betrachtete Quantensystem, an dem am Ende dann doch gemessen werden muss. Wir bleiben in dieser Frage bei der alten Auffassung der Kopenhagener Interpretation, dass die Präparier- und Messapparate von Anfang an klassisch beschrieben werden müssen, weil

Experimente und ihre Ergebnisse faktisch in der Welt vorliegen. Es ist einfach zuviel verlangt, aus der Quantentheorie auch noch die Erfüllung aller Voraussetzungen ihrer eigenen Anwendung herleiten zu wollen.³³

Weigert man sich, die Faktenentstehung bei der Messung als eigenständigen Akt im Naturgeschehen anzuerkennen, dann entgrenzt sich die Potentialität, von der die Quantentheorie handelt. Wo alles nur möglich bleibt und nichts wirklich wird, kann keine eindeutige Anbindung des theoretischen Formalismus an Fakten in der Welt mehr erfolgen. Die Theorie wird damit uninterpretierbar.³⁴ Doch Hans-Peter Dürr macht aus dieser Not eine Tugend: „...wenn ich das Ganze angucke, dann sehe ich nicht die Summe der Teile. Das Ganze ist eben etwas anderes, und dies nicht nur wegen der Wechselwirkungen, die dazukommen. Das Ganze, das ist Potentialität, nicht Realität.“³⁵ Schlechthin gilt ihm: „Wirklichkeit ist im Grunde Potentialität, nicht Realität.“³⁶

Die Intuition Dürrs (der hier für viele steht) ist klar: Es ist die Hoffnung der Quanten-Universalisten, letztlich die gesamte Naturbeschreibung in quantentheoretischen Begriffen zu vereinheitlichen. Er sagt explizit: „Aus meiner Sicht muss die Quantenphysik, weil sie die umfassendere Theorie ist, die Grundlage von allem sein.“³⁷ Am Ende hätte man es dann mit einem Quantenzustand des Universums zu tun (dessen Interpretation umstritten ist³⁸) und mit einer vereinheitlichten Quantenfeldtheorie, die alle vier Grundkräfte der Physik beschreibt (wobei es bis heute keine überzeugende Quantentheorie der Gravitation gibt). Trotz der Vielfalt der bekannten Quantenobjekte und Quantenfelder be-

hauptet Dürr: „*Es gibt im Grunde nur eine Potentialität für etwas noch Allgemeineres*“³⁹, und seine begeisterungsfähige Gesprächspartnerin versteht schließlich, „*dass da ein wellendes, Wellen hervorbringendes Feld ist, das einheitlich allen verschiedenen Wellen zugrunde liegt*“⁴⁰.

Natürlich ist es legitim, dem Quanten-Universalismus heuristisch oder programmatisch anzuhängen. Und zweifellos hat die Vereinheitlichungsidee in der Theoretischen Physik große Erfolge gefeiert. Aber gesichertes Wissen – auch in der Quantenphysik übrigens durch die Isolation von Effekten und ihre Reduktion auf Einfaches erarbeitet – ist von hypothetischen Ansätzen und spekulativen Deutungen zu trennen. Dies gilt umso mehr, wenn die Autorität der modernen Physik zur Wiederbelebung von Transzendenzvorstellungen herbeigezogen werden soll.

4 Subjekt und Objekt, Materie und Geist

„*Auf der Ebene der Elementarteilchen spielt der Beobachter eine zentrale Rolle bei der Festlegung der Wirklichkeit. Beobachter und beobachtetes Objekt sind in der Quantenphysik untrennbar miteinander verbunden.*“⁴¹ „*Diese Unterscheidung, die wir zwischen Beobachter und Beobachtungsobjekt bei einer Beobachtung brauchen, ist nicht streng durchführbar.*“⁴² Wenn es wahr ist, dass die Quantenphysik „*keine scharfe Trennung mehr von Ich und Welt zulässt, ja sie im Grunde sogar ganz aufhebt*“⁴³, weil es, „*anders als es die klassische Physik nahe legte, keine deutlich zu definierende Grenzlinie zwischen mir als Beobachter und der äußeren Welt gibt*“⁴⁴,

dann hat das natürlich fundamentale Auswirkungen auf die Erkennbarkeit einer objektiven Außenwelt und damit auf den Gegenstand der Physik insgesamt. Dann gilt: „*Unser eigenes Handeln in bezug auf Erkenntnis ist ein Teil dessen, was als Erkenntnis dabei herauskommt*“⁴⁵, und dann kann man behaupten: „*Die Welt ist als Objekt fragwürdig geworden.*“⁴⁶ und zieht am Ende „*die Möglichkeit in Betracht, dass da draußen streng genommen gar nichts ist.*“⁴⁷

Woher kommen solche Auffassungen? Sind Quantenphysiker erkenntnistheoretische Nihilisten? Wieder muss man unterscheiden zwischen unstrittigen Merkmalen der Quantentheorie und überschießenden Interpretationsversuchen. Tatsächlich ändern Messeingriffe den Quantenzustand un stetig. Störeinflüsse durch Messwechselwirkungen gibt es zwar auch schon in der klassischen Physik, aber dort können sie wegen ihres deterministischen Charakters im Prinzip immer nachträglich herausgerechnet werden. Bei Quantenphänomenen geht das nicht mehr, weil eine „Messung“ hier nicht mehr bloß der Kenntnisaufnahme von ohnehin Vorhandenem dient, sondern neue Fakten schafft. Dies geschieht zwar statistisch, jedoch in kontrollierbarem Rahmen an einer experimentellen Anordnung, in einem Detektor, auf einem Beobachtungsschirm etc.

Durch die Wahl der Anordnung, speziell des Messapparats, ist eine bestimmte Messgröße festgelegt. Andere Messgrößen sind dadurch ausgeschlossen. Am Ende entsteht ein Faktum, das einem speziellen Wert der gewählten Messgröße entspricht. Dieses Faktum liegt objektiv vor und ist genauso real wie Gegenstände der klassi-

schen Physik. Es besteht also eine Wahlfreiheit bezüglich des (objektiv vorhandenen!) Messapparats, aber ansonsten spielt der „Beobachter“ keine andere Rolle als in der klassischen Physik auch: Er kommt in der Beschreibung der Phänomene schlicht nicht vor. Ob das Messergebnis am Ende von einem „Beobachter“ zur Kenntnis genommen wird oder nicht, ist für dessen Vorliegen völlig belanglos.

Wenn man jedoch diesen klassisch-faktischen Anwendungsrahmen für die Wahrscheinlichkeitsaussagen der Quantentheorie nicht akzeptiert und stattdessen – wie im vorigen Abschnitt bereits skizziert – der Intuition des Quanten-Universalismus folgt, dann wird man bei verschränkten Zuständen landen, die auch vor dem Beobachter selbst nicht halt machen. Im Fall einer binären Entscheidung, deren eine Möglichkeit durch Ankopplung und Verstärkung zu einer lebenden und deren andere Möglichkeit zu einer toten Katze in einem Kasten führt, glaubt man dann: „Ob die Katze lebt oder tot ist, entscheidet sich erst in dem Moment, in dem der Beobachter den Kasten öffnet und nachschaut.“⁴⁸ Dieses Gedankenexperiment wurde von Schrödinger zwar entworfen, um die Anwendung quantentheoretischer Überlagerungszustände auf die Alltagswelt ad absurdum zu führen. Die Verwendung der Begriffe „Beobachter“ und „Beobachtung“ durch die Väter der Kopenhagener Interpretation (insbesondere beim frühen Heisenberg) hat solchen Vorstellungen jedoch jahrzehntelang zu Verbreitung und Ansehen verholfen.

Seit John von Neumanns eher beiläufiger Erwähnung, dass in der konsistenten Fortführbarkeit quantentheoretischer Ver-

schränkung bis in den Beobachter hinein ein „psychophysischer Parallelismus“ zum Ausdruck komme⁴⁹, ist viel spekuliert worden über das Verhältnis von Quantenphysik und Bewusstsein. Neben der These, das Bewusstsein des Beobachters sei der Schlüssel zur Lösung des Messproblems, ist auch die umgekehrte These vertreten worden, die Quantenphysik sei der Schlüssel zum Verständnis des Phänomens Bewusstsein. Gerne werden dabei Quanteneffekte im Gehirn als relevant für das geistige Erleben postuliert. Klare Befunde dazu liegen nicht vor.

Besonders mutig und konsequent bei der Ontologisierung von Quantenzuständen und bei der Einbeziehung des Geistigen ist erneut der Heisenberg-Schüler Hans-Peter Dürr. Er meint: „Die naturwissenschaftliche Betrachtungsweise macht nämlich das, was beobachtet wird, zu etwas Außenstehendem. Wenn dagegen Beziehungsstrukturen wichtig sind, dann bin ich mitten drin und gehöre ab einem gewissen Punkt zum Ganzen. Und dann bin ich eigentlich in der Innenbetrachtung, in dem Bereich, den ich den religiösen nenne.“⁵⁰ Nur so entsteht Sinn, denn: „Die Materialisten sagen ja: alles ist mechanistisch zu erklären. Aber dann müssen sie eigentlich zugeben, dass dann der ganze Witz raus ist aus der Sache. Was soll dann das Ganze?“⁵¹ Dürr spricht: „Das Geistige ist für mich fundamental, und ich gehe sogar so weit zu behaupten, daß es keine Materie gibt, sondern nur Geist.“⁵², und weiter: „Die Frage, inwieweit Gedanken etwas mit der Materie zu tun haben, hat Ähnlichkeit mit der Frage, wie es kommt, daß Materie Gestalt annimmt. (...) Gestalt ist eine Beziehungsstruktur, und wenn wir an-

nehmen, daß die Einwirkung nicht punktuell ist, sondern auch global, dann kann Gestalt auch auf Materie wirken (...) Es ist ein Eingreifen in die Spielregeln der Anordnung der Materie. Und deshalb glaube ich, daß Gedanken auch Materie beeinflussen können.“⁵³

Der Theologe Wolfhart Pannenberg vertritt in den Toskana-Gesprächen die Position „Das Gehirn ist natürlich Ergebnis der Evolution“, aber „...der Geist ist sozusagen das Wählen durch die Gehirnzellen, und das ist etwas anderes“⁵⁴, während der Biologe Franz Wuketits Descartes vom Kopf auf die Füße stellt („Ich bin, also denke ich“⁵⁵). Dürr hingegen fährt fort: „Was der Theologe ‚Atem Gottes‘ nennt, ergänzt sich im Prinzip mit einer Grundstruktur, die auch in der naturwissenschaftlichen Beschreibung auftritt. Für die Quantenphysik gibt es eine immaterielle Grundstruktur. Meiner Auffassung nach gibt es das Immaterielle in der Gegensatzung zum Materiellen gar nicht. Denn alles ist sozusagen ‚Atem Gottes‘.“⁵⁶

Es bleibt Hans-Dieter Mutschler vorbehalten zu entgegnen: „...ich muß als Philosoph darauf dringen, nicht zum Opfer der eigenen Metaphorik zu werden. Wenn man nämlich die Ganzheitlichkeit in der Quantenphysik zu rasch mit der Ganzheit des Religiösen oder Metaphysischen gleichsetzt, dann macht man einen Fehler.“⁵⁷ So ist es.

Hans-Peter Dürrs virtuose Deutungen geistiger Erfahrung als Ausdruck universeller Quantenstrukturen können in „Wir erleben mehr als wir begreifen“ nachgelesen werden, so zur Doppelnatur von Leib und

Seele in Analogie zur Doppelnatur von Teilchen und Welle (S. 79-82, 128-129), zur Unteilbarkeit des Selbst im Sinne der Nichtaufgetrenntheit eines umfassenden Quantenzustands (S. 131-132), zu Ahnungen in Meditation und Halbschlaf als Folge quantenmechanischer Unschärfe (S. 133-134), zur Intuition als Folge von Beziehungsstrukturen in höherdimensionalen Räumen (S. 65-66), zur Auflösung der Individualität einer Schaumkrone durch Wellen in der Tiefe (des Meeres wie auch der Seele, S. 130-131, 135-137). Hier eine Kostprobe zu delokalisierten Quantenzuständen und Tunneleffekt: „Alle ahnen alles. Es gibt überhaupt keine Situation in dieser Wirklichkeit, wo ein ‚Ich‘ nicht gleichzeitig auch woanders ist – obgleich jeweils nur mit einer gewissen winzigen Wahrscheinlichkeit“, wobei „mit dem ‚Ich‘ hier nicht das äußerlich wahrnehmbare ‚Ego‘ mit seiner geronnenen materiellen Form gemeint ist, sondern das innere, wahrnehmende ‚Ich‘.“⁵⁸

Doch auch wenn es spielverderberisch klingt und „Seelen“ kränkt: Eigenschaften des Geistigen und Eigenheiten des „Ich“ kommen nun einmal in der Quantentheorie nicht vor. Sie werden von ihr nicht beschrieben und für ihre Interpretation nicht gebraucht. Bei allem Respekt vor Hans-Peter Dürrs Verdiensten um die Theoretische Physik und die Verantwortung des Physikers: Mit wissenschaftlicher Aufklärung hat sein Ganzheitsverständnis nichts zu tun. Das ist Beihilfe zur Quantenesoterik.

5 Einordnung und Fazit

Die Quantentheorie besitzt im Rahmen ihres physikalischen Anwendungsbereiches eine strikt naturalistische Interpretation. Ihr

Verständnis bedarf keiner theologischen oder esoterischen Vorstellungen. Die Quantentheorie liefert präzise Quantifizierungen der Potentialität noch nicht eingetretener Fakten durch berechenbare und testbare Eintretenswahrscheinlichkeiten. Sie macht damit objektive Unbestimmtheit und ontischen Zufall theoriefähig. Wenn man die Würfelmetapher nicht zu ernst nimmt (denn die „Würfel“ suggerieren einen klassischen Mechanismus, der hier nicht vorliegt) und die Welt naturalistisch betrachtet, dann sollte man Einsteins berühmtes Diktum „Gott würfelt nicht“ besser umstellen: „Nicht Gott würfelt.“

Gleichwohl gilt die Quantentheorie manchen als Chance für einen neuen Dialog zwischen Naturwissenschaft und Theologie und eine Annäherung zwischen Physik und Transzendenz. Die dahinter steckende Sehnsucht scheint allerdings oft so allgemein zu sein, dass sie vom Stand der physikalischen Erkenntnis gar nicht abhängt. Hans-Peter Dürr meint etwa: *„Wir erfassen mit unseren naturwissenschaftlichen Methoden aber nicht das Wesentliche.“*⁵⁹ *„Die Physik läßt einen Raum offen, der mit etwas anderem gefüllt werden muß als dem, was sich physikalisch erfassen läßt.“*⁶⁰

Wer das so empfindet und ein ganzheitliches Weltbild sucht, der wird sich seine Brücken zwischen Physik und Transzendenz bauen. Diese Brücken sind allerdings recht locker, assoziativ und von Wünschen bestimmt.⁶¹ Dabei kann eine doppelte Freiheit genutzt werden: Zum einen ist die Interpretation der Quantentheorie notorisch umstritten (obwohl die Anwendung der Theorie invariant unter Wechsel der weltanschaulichen Hintergrundüber-

zeugung ist!), und zum anderen gibt es zu Gottesbildern und Sinnstiftung viele verschiedene Meinungen. Es kann nicht verwundern, dass die Nutzung beider Freiheiten schließlich der einen oder anderen Gedankenbrücke subjektive Plausibilität verleiht.

Heutige Theologen und Philosophen wissen, dass solche Bezüge jedenfalls nicht zwingend sind: *„...man kann die Ordnung der Welt, auch wie sie ein Physiker erforscht, auf Gott hin deuten. Sie ist offen dafür. Es kann mich niemand daran hindern zu sagen, daß die Tatsache, daß Kreise in ihrem Verhältnis von Umfang zu Radius oder Durchmesser immer gleich gestaltet sind, für mich letztlich die Ordnung Gottes beweist. Das ist nicht falsch, und das ist auch nicht widersprüchlich, aber es liegt auch nicht nahe. Die moderne Naturwissenschaft ist zu neutral in ihrer Weltkonstruktion, als daß sie einen so direkten Übergang zu religiösen Perspektiven ermöglichen würde.“*⁶²

Heutzutage wird man – aus Erfahrung klug geworden – theologischerseits davon absehen, Gott innerhalb des physikalischen Weltgeschehens unterzubringen, schon um drohende Rückzugsgefechte zu vermeiden. Dazu nochmals Hans-Dieter Mutschler mit einer Analogie: *„Wenn Sie eine Waschmaschine haben und die Betriebsanleitung studieren, wird der Ingenieur auch nicht vorkommen. Sie wären sehr überrascht, wenn in einer Betriebsanleitung von der Person des Ingenieurs die Rede wäre. Sie wollen dann ja gar nicht wissen, wer das gebaut hat, sondern Sie wollen wissen, wie das Ding funktioniert. Ebenso wie der Physiker, der wissen will, wie die Welt funktioniert. Ob es da einen*

Ingenieur gibt, ist eine ganz andere Fragestellung. Es tut mir gar nicht weh, daß Gott in der Physik nicht vorkommt. Da braucht er nicht vorzukommen.“⁶³

Es entspricht der naturalistischen Methode, Gott dort wegzulassen, wo seine Existenz keinen Unterschied macht, und dort nach alternativen weltimmanenten Erklärungen oder Orientierungen zu suchen, wo ein solcher Unterschied behauptet wird. Jenseits pantheistischer Nacherzählungen dessen, was ohnehin schon Gegenstand säkularer Wissenschaft ist, sind fünf Gebiete noch immer besonders beliebt als mögliche Handlungsfelder Gottes:

1. Begründung der Existenz von allem und seiner Geordnetheit (Gott als Existenzialist)
2. Festlegung von Anfangsbedingungen und Kontingenzbearbeitung (Gott als Entscheider)
3. Schaffung qualitativ neuer Systemeigenschaften wie Leben, Geist, Bewusstsein (Gott als Erfinder)
4. Vorgabe von Bewertungen, Moralvorstellungen und Entwicklungszielen (Gott als Wertestifter)
5. Persönliches Gegenüber im subjektiven Erleben und Erfahren (Gott als Therapeut).

Gläubige Menschen und Theologen müssen sich überlegen, auf welchen dieser fünf Gebiete ihnen ein Wirken Gottes tatsächlich zu besseren Erklärungen oder Orientierungen verhilft als ein säkulares Herangehen – mit anderen Worten: wo sie Gott in ihrer Weltanschauung unterbringen. Atheisten haben dieses Problem nicht.

Anmerkungen:

¹ Siehe Dürr/Meyer-Abich/Mutschler/Pannenberg/Wuketits (1997), im Folgenden als „Toskana“ bezeichnet, S. 36.

² Siehe Toskana S. 38.

³ Siehe Toskana S. 42.

⁴ Siehe Toskana S. 29-30.

⁵ Siehe Toskana S. 130.

⁶ Gehaltvolle populäre Darstellungen der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie sind etwa Giulini (2004) und Kiefer (2003).

⁷ Eine populäre und untechnische Darstellung der Quantentheorie liefert Zeilinger (2003), eine didaktisch hervorragend aufgebaute Einführung in ihre Grundideen Audretsch (2008), eine knappe und anspruchsvolle Einführung für wissenschaftlich Interessierte Kiefer (2002).

⁸ Als einflussreiches Fachbuch früherer Jahre sei Mittelstaedt (1989) genannt. Die klarste aktuelle deutschsprachige Zusammenfassung der wichtigsten philosophischen Probleme der Quantentheorie bietet Stöckler (2007).

⁹ Siehe Toskana, S. 41.

¹⁰ Als knappe Darstellung des Wesentlichen zur Chaostheorie ist immer noch Schmidt (1994) zu empfehlen.

¹¹ Die Notwendigkeit starker Kausalstrukturen für den Freiheitsbegriff betont etwa Kanitscheider (2006).

¹² So der Theoretische Physiker Hans-Peter Dürr in Toskana, S. 15.

¹³ Siehe Toskana, S. 16.

¹⁴ So Hans-Dieter Mutschler in Toskana, S. 50.

¹⁵ Siehe Toskana S. 195, vgl. dazu den ganzen Abschnitt „Naturgesetz und Kontingenz“, S. 194-196.

¹⁶ Siehe Toskana S. 51.

¹⁷ Siehe Toskana S. 146-147.

¹⁸ Siehe Toskana S. 199-200.

¹⁹ Siehe Dürr/Oesterreicher (2007), S. 36.

²⁰ So Dürr in Dürr/Oesterreicher, S. 37.

²¹ So Dürr in Dürr/Oesterreicher; S. 38.

²² Siehe Dürr/Oesterreicher S. 40.

²³ So Dürr in Dürr/Oesterreicher, S. 41.

²⁴ Als gute Sammlung von Beiträgen rund um dieses Gedankenexperiment hat sich Audretsch/Mainzer (1990) bewährt.

²⁵ So Dürr in Dürr/Oesterreicher, S. 13.

²⁶ Ebendort.

²⁷ Siehe Toskana, S. 87.

²⁸ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 86.

- ²⁹ Siehe Toskana, S. 29.
- ³⁰ Siehe Toskana, S. 45.
- ³¹ Für Fachleute: Diese Definition gilt nur für reine (Gesamt-)Zustände. Gemischte Zustände, die zwar kein Produktzustand, aber eine Konvexkombination aus solchen sind, heißen klassisch korreliert und sind unverschränkt.
- ³² Als Sammlung von Beiträgen zu verschiedenen Aspekten und Anwendungen quantentheoretischer Verschränktheit sei Audretsch (2002) empfohlen. Zur Interpretation verschränkter Zustände vgl. auch Fink (2004).
- ³³ Gut lesbar sind als frühere Kurzdarstellung dieses Standpunkts Ludwig (1955) und als spätere Ludwig (1993).
- ³⁴ Hierzu gibt es andere Auffassungen und Vorschläge, darunter solche, die quantitative Betrachtungen ohne ontologische Ansprüche für ausreichend halten, solche, die den Formalismus ohne empirische Hinweise abändern, und solche, die die Begegnung mit Ockhams Rasiermesser nicht überleben, wie etwa die Vielwelten-Ontologie oder die Bohmsche (Zusatz-)Mechanik.
- ³⁵ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 123.
- ³⁶ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 37.
- ³⁷ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 147.
- ³⁸ Vgl. dazu Fink/Leschke (2000).
- ³⁹ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 62.
- ⁴⁰ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 63.
- ⁴¹ Siehe Toskana, S. 58.
- ⁴² So Hans-Peter Dürr in Toskana, S. 144.
- ⁴³ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 16.
- ⁴⁴ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 18.
- ⁴⁵ So Klaus Michael Meyer-Abich in Toskana, S. 144.
- ⁴⁶ Siehe Dürr/Oesterreicher, S. 17.
- ⁴⁷ So Dürr in Dürr/Oesterreicher, S. 21.
- ⁴⁸ Siehe Toskana, S. 58.
- ⁴⁹ Siehe von Neumann (1932), Kap. VI „Der Meßprozeß“, speziell VI.1 „Formulierung des Problems“, S. 222-225.
- ⁵⁰ Siehe Toskana, S. 35.
- ⁵¹ So Dürr in Dürr/Oesterreicher, S. 23.
- ⁵² Siehe Toskana, S. 118.
- ⁵³ Siehe Toskana, S. 136-137.
- ⁵⁴ Siehe Toskana, S. 119-120.
- ⁵⁵ Siehe Toskana, S. 123.
- ⁵⁶ Siehe Toskana, S. 139-140.
- ⁵⁷ Siehe Toskana, S. 143.
- ⁵⁸ So Dürr in Dürr/Oesterreicher, S. 121.

⁵⁹ Siehe Toskana, S. 67.

⁶⁰ Siehe Toskana, S. 39.

⁶¹ Man beachte als ausgearbeiteten Vorschlag von theologischer Seite Küng (2005) und dazu die vernichtende rationale Kritik von Albert (2006), die auch viele Verweise auf Küngs frühere Bücher und Alberts frühere, ebenfalls vernichtende Kritik an diesen enthält. – Unabhängig von solchen Einzelkontroversen diskutiert Mittelstaedt (2001 und 2004) vom Standpunkt der Physik aus mögliche Bezüge zur Theologie. Seine wohlwollende Behandlung des Themas lässt den Leser dennoch den Unterschied zwischen möglichen und wirklichen Bezügen erkennen.

⁶² So Hans-Dieter Mutschler in Toskana, S. 34.

⁶³ Siehe Toskana, S. 31-32.

Literatur

Albert, Hans (2006): Hans Küngs Rettung des christlichen Glaubens. Ein Mißbrauch der Vernunft im Dienste menschlicher Wünsche, *Aufklärung und Kritik* 1/2006, S. 7-39.

Audretsch, Jürgen (2002, Hrsg.): *Verschränkte Welt. Faszination der Quanten*, Weinheim: Wiley-VCH.

Audretsch, Jürgen (2008): *Die sonderbare Welt der Quanten. Eine Einführung*, München: C.H. Beck.

Audretsch, Jürgen / Mainzer, Klaus (1990, Hrsg.): *Wieviele Leben hat Schrödingers Katze?*, Mannheim: BI (2. Aufl. 1996, Heidelberg: Spektrum).

Dürr, Hans-Peter / Meyer-Abich, Klaus Michael / Mutschler, Hans-Dieter / Pannenberg, Wolfhart / Wuketits, Franz M. (1997): *Gott, der Mensch und die Wissenschaft*, Augsburg: Pattloch [in den Anmerkungen als „Toskana“ bezeichnet].

- Dürr, Hans-Peter / Oesterreicher, Marianne (2007): *Wir erleben mehr als wir begreifen. Quantenphysik und Lebensfragen*, Freiburg: Herder (Erstausgabe 2001).
- Fink, Helmut (2004): Die Quantenwelt – unbestimmt und nichtlokal? In: *Physik in unserer Zeit* 35(4), S. 168-173.
- Fink, Helmut / Leschke, Hajo (2000): Is the Universe a Quantum System? In: *Foundations of Physics Letters* 13, S. 345-356.
- Giulini, Domenico (2004): *Spezielle Relativitätstheorie* (Reihe Fischer Kompakt), Frankfurt a.M.: Fischer (2. Aufl. 2006).
- Kanitscheider, Bernulf (2006): Was können wir tun? Willens- und Handlungsfreiheit in naturalistischer Perspektive. In: *Freier Wille – frommer Wunsch? Gehirn und Willensfreiheit*, hrsg. von Helmut Fink und Rainer Rosenzweig, Paderborn: mentis, S. 117-133.
- Kiefer, Claus (2002): *Quantentheorie* (Reihe Fischer Kompakt), Frankfurt a.M.: Fischer (3. Aufl. 2004).
- Kiefer, Claus (2003): *Gravitation* (Reihe Fischer Kompakt), Frankfurt a.M.: Fischer.
- Küng, Hans (2005): *Der Anfang aller Dinge. Naturwissenschaft und Religion*, München: Piper.
- Ludwig, Günther (1955): Zur Deutung der Beobachtung in der Quantenmechanik. In: *Physikalische Blätter* 11, S. 489-494.
- Ludwig, Günther (1993): Die Stellung des Subjekts in einer physikalischen Theorie. In: *Werner Heisenberg, Physiker und Philosoph*, hrsg. von Bodo Geyer, Helge Herwig und Helmut Rechenberg, Heidelberg: Spektrum, S. 244-250.
- Mittelstaedt, Peter (1989): *Philosophische Probleme der modernen Physik*, Mannheim: BI, 7. Aufl. (1. Aufl. 1963).
- Mittelstaedt, Peter (2001): Die Bedeutung physikalischer Erkenntnisse für die Theologie. In: *Evolution als Schöpfung. Ein Streitgespräch zwischen Philosophen, Theologen und Naturwissenschaftlern*, hrsg. von Paul Weingartner, Stuttgart: Kohlhammer, S. 135-148.
- Mittelstaedt, Peter (2004): On Possible Relations between Physics and Theology. In: *Knowledge and Believe. Proceedings of the 26th International Wittgenstein Symposium*, hrsg. von Winfried Löffler und Paul Weingartner, Wien: öbv&hpt, S. 329-338.
- Schmidt, Bernd (1994): Ordnung oder Chaos. Die Struktur der realen Welt. In: *Aufklärung und Kritik* 1/1994, S. 65-80.
- Stöckler, Manfred (2007): Philosophische Probleme der Quantentheorie. In: *Wissenschaftstheorie. Ein Studienbuch*, hrsg. von Andreas Bartels und Manfred Stöckler, Paderborn: mentis, Kap. 7 (S. 245-263, 350-351).
- von Neumann, John (1932): *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin: Springer, 2. Aufl. 1996 (1. Aufl. des Nachdrucks 1968).
- Zeilinger, Anton (2003): *Einsteins Schleier. Die neue Welt der Quantenphysik*, München: C.H. Beck.