

Dr. Karl Czasny
A-4962 Mining
Gundholling 4

Tel.: (0) 7723 43124
e-mail: karl.czasny@aon.at

Quantenphysik als Herausforderung der Erkenntnistheorie

Abstract

Thema dieses Artikels ist die erkenntnistheoretische Interpretation der Quantenmechanik. Das Papier geht davon aus, dass bisher keine zufriedenstellende erkenntnistheoretische Interpretation der Ergebnisse der Quantenmechanik vorliegt. Im ersten Teil des Papiers werden die allgemeinen Aufgaben der Erkenntnistheorie beschrieben. Der zweite Teil diskutiert die wichtigsten Probleme der herkömmlichen erkenntnistheoretischen Interpretation der Quantenmechanik. Der dritte Teil des Papiers stellt einen alternativen Ansatz zur erkenntnistheoretischen Interpretation der Quantenmechanik vor. Während die herkömmlichen Interpretationen von einer ontologischen oder empiristischen Perspektive ausgehen, steht der hier vertretene Ansatz in der Tradition der Transzendentalphilosophie. Das Papier zeigt auf, wie man den Ansatz von Kant weiterentwickeln muss, damit er auf die Ergebnisse der Quantenmechanik angewendet werden kann.

Quantum physics as a challenge of epistemology

Abstract

Topic of this article is the epistemological interpretation of quantum mechanics. The paper proceeds from the initial thesis that so far there hasn't been any satisfactory epistemological interpretation of quantum mechanics. The first part of the paper describes the general tasks of epistemology. The second part discusses the main problems of the traditional epistemological interpretation of quantum mechanics. The third part of the paper presents an alternative approach of epistemological interpretation of quantum mechanics. While conventional interpretations come from an ontological or empirical perspective, the approach presented here follows the tradition of transcendental philosophy. The paper shows how the approach of Kant has to be developed, so that it can be applied to the results of quantum mechanics.

Karl Czasny

Quantenphysik als Herausforderung der Erkenntnistheorie

Vorbemerkung

Der nachstehende Text ist die konzentrierte Aufbereitung zentraler Argumente einer gleichnamigen Buchpublikation. Es handelt sich dabei um den dritten Band einer vom Autor verfassten Studienreihe über die „Erkenntnistheoretischen Grundlagen der Physik“¹, zu der es auch eine Webseite gibt (<http://www.erkennnistheorie.at>). Dort, wo der Text aus Platzgründen sehr starke Verdichtungen des jeweiligen Gedankengangs vornimmt oder gar ganze Themenbereiche mit Relevanz für das vorliegende Problem ausklammert, wird in den Endnoten auf die entsprechenden Passagen der Buchpublikation hingewiesen.

Problemstellung

Keine Frage: Quantenmechanik funktioniert als mathematisch formalisierte physikalische Theorie einwandfrei, ist also in sich stimmig, bewährt sich bestens in der praktischen Anwendung und verfügt auch über hohes Theoriepotential. Ihre praktische Bewährung zeigt sich an der Genauigkeit der aus ihr ableitbaren Prognosen und an der großen Zahl von präzise funktionierenden Technologien mit hoher wirtschaftlicher und sozialer Relevanz, die auf ihrer Basis entwickelt werden konnten. Ihr theoretisches Potential lässt sich daran ablesen, dass sie eine breite Palette empirischer Phänomene durch einige wenige theoretische Annahmen erklärt, fruchtbare Perspektiven für die Entwicklung neuer Hypothesen eröffnet und interessante Relationen zum übrigen Theoriegebäude der Physik aufweist. Mit dem zuletzt angesprochenen Aspekt ist ausdrücklich kein bruchloses Anknüpfen an andere Theorien gemeint. Vielmehr geht es hier darum, dass derzeit noch vorhandene Verständnislücken bzw. Inkonsistenzen - etwa im Verhältnis zur Gravitationstheorie - zu lebhaften Diskussionen führen, welche die Entwicklung der Physik weitertreiben.

Der etablierten erkenntnistheoretischen Interpretation des mathematischen Formalismus der Quantenmechanik ist leider kein ähnlich gutes Zeugnis auszustellen. Bei ihr kann weder von Bewährung noch von hohem Theoriepotential die Rede sein, muss man doch ernsthaft befürchten, dass sich das Denken hier in einer Sackgasse verirrt hat. Diese Situation ist umso brisanter, als die erkenntnistheoretische Sicht auf den Formalismus der Quantenmechanik nicht nachträglich zu seiner rein physikalischen Interpretation hinzutritt, sondern aufs Engste mit ihr verknüpft ist. Erkenntnistheoretische Fehleinschätzungen führen somit im vorliegenden Fall unmittelbar zu Fehlinterpretationen von Experimenten und problematischen physikalischen Schlussfolgerungen.

Der nun folgende Versuch einer Begründung dieses negativen Urteils beginnt mit einer kurzen Beschreibung der allgemeinen Aufgabenstellung von Erkenntnistheorie.

Empirische Wissenschaften und Erkenntnistheorie

Während die empirischen Wissenschaften verschiedenste **Gegenstände** untersuchen, betrachtet die Erkenntnistheorie das jenen Forschungsprozessen zugrunde liegende **Verhältnis** zwischen den Forschern und ihren Gegenständen. Dabei bemüht sie sich um Verallgemeinerungen, welche die in verschiedenen Einzelwissenschaften gegebenen Subjekt-Objekt-Relationen auf einen gemeinsamen Nenner bringen. Im Idealfall etabliert sich im Zuge dieser Reflexion zwischen den Einzelwissenschaften und der Erkenntnistheorie ein durch gegenseitige Befruchtung gekennzeichnetes Wechselverhältnis: Auf der einen Seite gibt die erkenntnistheoretische Analyse der Subjekt-Objekt-Relation den Einzelwissenschaften Orientierung bei der Weiterentwicklung ihrer Methoden, Fragestellungen und Antwortfolien. Auf der anderen regen neue Trends im Bereich der Einzelwissenschaften die Erkenntnistheoretiker zur Überarbeitung ihrer auf das Subjekt-Objekt-Verhältnis bezogenen Verallgemeinerungen an.

Ein wichtiges Beispiel für die im Zuge dieser Wechselwirkung ausgelösten Fortschritte der Erkenntnistheorie zeigt sich im Anschluss an die im 19. Jahrhundert stattfindende Entstehung der Geistes- und Sozialwissenschaften: In ihren Anfängen hatte die Erkenntnistheorie nur an dem sehr distanzierten Verhältnis der Naturwissenschaften (insbesondere der klassischen Physik) zu ihren Objekten Maß genommen. Nun aber zwangen sie die großen Erfolge der durch eine viel engere Subjekt-Objekt-Relation charakterisierten Wissenschaften neuen Typs zur Adaptierung ihrer Hypothesen über das Verhältnis der Forscher zu ihren Gegenständen. So entstand eine Erkenntnistheorie höheren Allgemeinheitsgrades, die nicht nur für die klassischen Naturwissenschaften gilt, sondern als einen Sonderfall auch den speziellen Zugang der Sozial- u. Geisteswissenschaftler zu ihren Gegenständen berücksichtigt.

Mit der Quantenmechanik entwickelte sich dann im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts innerhalb der Naturwissenschaften selbst ein Forschungsfeld, in dem offensichtlich ähnlich wie in den Geistes- und Sozialwissenschaften ein viel **engerer Subjekt-Objekt-Bezug** besteht als in der klassischen Physik. Während man es dort mit Körpern zu tun hat, die sich auf gesetzlich vorgegebenen Bahnen bewegen, welche sich bei Bekanntheit der betreffenden Gesetze mit beliebiger Genauigkeit vorhersagen lassen, liegt bei der Beobachtung von Objekten im Quantenmaßstab eine völlig andere Situation vor. Das Grundgesetz der Quantenmechanik, die sogenannte Wellengleichung, lässt uns nämlich die Orte u. Zeitpunkte der Interaktion des Beobachters mit seinem Gegenstand, und damit dessen Bahn, **prinzipiell** nur im Sinne von mehr oder weniger großen Wahrscheinlichkeiten bestimmen. Das Objekt scheint damit erst durch den Akt seiner Beobachtung zu einem real existierenden Gegenstand zu werden, was auf der Ebene des mathematischen Formalismus durch den sogenannten 'Kollaps' der Wellenfunktion symbolisiert wird. Darüber hinaus sind Quantenobjekte im Unterschied zu den Gegenständen der klassischen Physik dadurch gekennzeichnet, dass **ein und dasselbe** Objekt in Abhängigkeit vom jeweils gewählten experimentellen Arrangement einmal ein Teilchen und ein anderes Mal eine Welle zu sein scheint.

Die Schwierigkeiten der Erkenntnistheorie mit der Quantenmechanik

Um zu verstehen, welche Probleme sich in dieser neuen Situation für die Erkenntnistheorie auftürmen, ist zunächst ganz kurz auf deren Geschichte einzugehen: Die erkenntnistheoretische Perspektive entwickelt sich nach ersten 'Vorarbeiten' am Beginn der Neuzeit durch Descartes parallel zum allmählichen Erstarken des bürgerlichen Subjekts, das sich als immer wirkungsmächtigerer Akteur in seiner Welt erlebt. Traditionelle Philosophie war **Ontologie**, beschrieb somit diese Welt als ein durch übergeordnete Prinzipien reguliertes Sein, von dem der Mensch nur ein Teil war. Erkenntnistheorie vollzieht nun einen radikalen Perspektivenwechsel, indem sie nicht mehr von einem umfassenden Sein sondern von jenem Menschen ausgeht, um zu fragen, wie er zu seiner Erfahrung und seinem Wissen vom Sein kommt. Die extremste Ausformung dieser Gegenposition zur Ontologie bezieht der englische Philosoph David Hume, der alle über das (scheinbar) unmittelbare sinnliche Erleben hinausgehenden Interpretationen als subjektive Täuschungen abtut und damit Sein und sinnliches Erleben kurz schließt. Erst Immanuel Kant sieht dann im Zuge seiner Reflexion auf die Leistungen der klassischen Mechanik ein, dass Erfahrung stets mehr als bloße Sinnlichkeit ist und sich zwingend auf ein vom Erfahrenden selbst hypothetisch konstruiertes, interpretatorisch immer schon vorausgesetztes Objekt bezieht.

Jene die ontologische mit der empiristischen Weltsicht versöhnende **transzendente** Perspektive Kants lässt sich jedoch nicht so ohne weiteres auf das Objekt der Quantenmechanik umlegen. Denn dieses kann, wie zuvor erwähnt, nicht als ein im klassischen Sinne verstehbarer Körper mit naturgesetzlich eindeutig determinierten Bahneigenschaften gedacht werden. Die sogenannte 'Kopenhagener Deutung' der Quantenmechanik ‚löst‘ dieses **Unbestimmtheitsproblem**, indem sie wieder den von Hume vorgegebenen (und von Ernst Mach erneuerten) empiristischen Standpunkt einnimmt. Sie verzichtet also bei ihrer Interpretation der Beobachtungsergebnisse auf unmittelbar gegenstandsbezogene Aussagen und blendet damit alle objektkonstitutiven Leistungen des Subjekts aus. Viele Interpreten der Quantenmechanik sehen das zwar als einen zu bedauernden erkenntnistheoretischen Rückschritt an, erblicken darin aber die sicherste Art der Vermeidung von Paradoxien.² Dieser Versuch der Problemlösung greift jedoch aus zwei Gründen zu kurz:

ERSTENS lässt sich das Denken nicht per Dekret den Bezug von Beobachtungen auf ein ihnen zugrunde liegendes Objekt verbieten. Das Objekt wird durch verschiedenste bizarre Pseudotheorien unvermeidlich wieder in die Vorstellungswelt der Physiker eingeschleust und existiert dann hier etwa in Gestalt eines Teilchens, das nicht nur **eine** Bahn sondern **alle** theoretisch möglichen Bahnen gleichzeitig durchläuft³, oder gar als Partikel, das im Augenblick seiner Beobachtung zum Ausgangspunkt einer Unzahl neuer Universen wird, sodass dann jeder seiner vor der Beobachtung bloß möglichen Wege in einem andern Paralleluniversum Realität ist⁴. Derart verrückte Positionen rufen nicht minder unhaltbare Gegenpositionen hervor. Gibt es doch tatsächlich Physiker, welche die Strategie der Kopenhagener Deutung, sich objektbezogener Aussagen zu enthalten, zu der Behauptung zuspitzen, dass der Wellenfunktion überhaupt kein reales Wellenobjekt entspreche⁵ - als ob es sich bei ihr um einen nur sich selbst darstel-

lenden Formalismus handle, der die wunderbare Eigenschaft besitzt, am laufenden Band wie durch Zauberei empirisch korrekte Prognosen zu produzieren.

ZWEITENS sägt die Kopenhagener Deutung mit der radikalen Abwehr der Suche nach den die unmittelbaren Erfahrungsdaten fundierenden Begründungszusammenhängen auch den Ast ab, auf dem sie selbst sitzt:

- **Wenn** man nämlich die sich in Raum und Zeit entwickelnde Beobachtungswahrscheinlichkeit zur nicht weiter hinterfragbaren Basis all unseres Wissens macht
- und damit alle transzendentalen Sinnbezüge, die auf das sich in der Beobachtung zeigende Objekt verweisen, aus der Reflexion auf die Erfahrung eliminiert,
- **dann** verlieren auch sämtliche in der quantentheoretischen Beschreibung der Realität verwendeten Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie ihren Sinn.

Denn der Wahrscheinlichkeitsbegriff beschreibt ja den Grad der Sicherheit von Verhaltenserwartungen - und diese sind notwendig auf ein sich verhaltendes Gegenüber, also auf ein hinter seinen Erscheinungen stehendes Objekt bezogen. Wird daher dieses Objekt gänzlich aus der Betrachtung ausgeklammert, dann kann man keine schlüssigen Konzepte von ‚Verhalten‘, ‚Verhaltensmöglichkeiten‘ und ‚Verhaltenserwartung‘, begründen, womit wesentliche Bedeutungsfacetten des Begriffes der ‚Wahrscheinlichkeit‘ (und in weiterer Folge aller auf ihm aufbauenden Konzepte der Wahrscheinlichkeitstheorie) entfallen, bzw. für die Quantenmechanik unbrauchbar werden.⁶

Damit sind nun aber bei weitem noch nicht sämtliche Probleme der etablierten Interpretation der Quantenmechanik angesprochen. Letztlich geht nämlich allen auf die Kopenhagener Deutung zurückweisenden Interpretationsversuchen nicht nur das Objekt sondern **auch das Subjekt** des Beobachtungsvorgangs verloren: Man hantiert zwar mit Beobachtungsergebnissen und Messvorschriften, hat aber von dem hinter seinem Beobachten stehenden Subjekt ebenso wenig einen Begriff wie von dem beobachteten Objekt. Denn bei allem empiristischen Gehabe steht man im Grunde auf dem alten Standpunkt der Ontologie, welcher das Subjekt nur als eine Sonderform des Seins erfassen möchte - es dabei aber nicht und nicht zu fassen bekommt. Dies wird deutlich an der Art, wie man den zum Kollaps der Wellenfunktion führenden Vorgang der Beobachtung zu beschreiben versucht. Was in Wahrheit eine Interaktion zwischen Subjekt und Objekt ist, reduziert sich für die physikalische Ontologie unter der Hand auf einen innerhalb der Objektwelt stattfindenden Vorgang, bei dem das Subjekt völlig verschwindet.

Ahnvater aller einschlägigen Deskriptionsversuche ist J. von Neumann mit seinem Programm, den quantenphysikalischen Messprozess allein mit den Mitteln der Quantenmechanik zu beschreiben. Dieses Programm ist, wie von Neumann selbst erkannte, gescheitert, und Gleiches gilt für alle seither unternommenen Versuche des Anknüpfens an sein Programm⁷. Letzte Ursache für dies Scheitern ist der Umstand, dass ganz einfach kein Subjekt vorhanden ist, das die Wellenfunktion zum Kollabieren bringt - wie ja auch niemand da ist, der Verhaltenserwartungen hegt und daher dem für die Wellenfunktion konstitutiven Begriff der Erwartungssicherheit (sprich: Wahrscheinlichkeit) Sinn verleiht.

Ein neuer Ansatz der erkenntnistheoretischen Interpretation der Quantenmechanik

So wie das Subjekt durch die Quantenmechanik nicht erfassbar ist, geht es auch jeder anderen formalen oder empirischen Einzelwissenschaft durch die Lappen. Das Subjekt ist ja genau jene Instanz, die das Instrument ‚Wissenschaft‘ entwickelt hat, um ihr Handeln erfolgreich zu gestalten. Es ist daher diesem von ihm geschaffenen Instrument immer einen Schritt voraus und nur durch die transzendente Reflexion einholbar. Denn sie thematisiert im Zuge ihrer Untersuchung des Verhältnisses der Wissenschaftler zu ihren Gegenständen auch die Beziehungen jener Wissenschaftler zu ihrer Forschungspraxis und bringt damit das Verhältnis zwischen dem Instrument ‚Wissenschaft‘ und seinen Schöpfern zur Sprache. Die Reintegration des Subjekts in das Weltbild der Physik kann deshalb nur gelingen durch eine Neubelebung des transzendentalen Ansatzes, welche jenes seinerzeit von Kant bloß auf die klassische Mechanik bezogene Konzept an die im Bereich der Quantenphysik herrschenden Beobachtungsbedingungen anpasst.

Die erwähnten Schwierigkeiten der transzendentalen Perspektive mit der Konstitution des Quantenobjekts erweisen sich bei genauerer Betrachtung als beherrschbar. Sie treten nämlich nur dann auf, wenn man **von vornherein** annimmt, mit einem Teilchen konfrontiert zu sein. Das Teilchen als solches ist in dieser Sichtweise ein immer schon vorweg konstituiertes Objekt, das über die im Teilchenbegriff implizierte Eigenschaft, eine Bahn zu besitzen, verfügt. Alle Interpretationsprobleme sind zwar erst auf einer **höheren** Konstitutionsstufe angesiedelt und betreffen bloß die Konstitution der Merkmale jener immer schon konstituierten Bahn. Ausgangspunkt dieser Folgeprobleme ist jedoch die vorgängige Objektivierung von Quantensystemen als Teilchen.

Es liegt daher nahe, auf jener untersten Stufe des Konstitutionsprozesses nach einer Form der Objektivierung zu suchen, welche das Problem der Objektkonstitution von vornherein mildern, wenn nicht gar vermeiden kann. Besagter alternativer Zugang zum Quantenobjekt besteht in der Annahme, dass man es immer nur mit **Energiewellen** zu tun hat, die ihrem Beobachter unter bestimmten Beobachtungsbedingungen als Teilchen **erscheinen**. Diese Sichtweise unterläuft nicht nur das Problem der vor ihrer Beobachtung nicht existierenden Bahnen, sondern hilft auch, wie die folgende Überlegung zeigen soll, bei der Bewältigung einer weiteren bereits eingangs erwähnten Schwierigkeit der Quantenphysik mit ihren Gegenständen. Gemeint ist die Tatsache, dass ein und dasselbe Quantenobjekt in bestimmten Experimenten Welleneigenschaften und in anderen Teilcheneigenschaften zeigt.

Der immer bloß auf die Deskription unterschiedlicher Strukturen und Prozesse des Seins abstellende ontologische Problemzugang reagiert auf besagten Umstand mit der These von der **dualen Natur** der Quantenobjekte. Diese schwer zu bewältigende Denkfigur eines Nebeneinanders von unterschiedlichen Seinsformen in ein und demselben Gegenstand führt die Physiker bei der Interpretation der konkreten Abläufe von Experimenten, wie etwa dem mit einzelnen Photonen durchgeführten Doppelspaltversuch, immer wieder in ausweglose Sackgassen.⁸ Der transzendente Ansatz hat demgegenüber kein Problem mit der Interpretation des Welle-Teilchen-Verhältnisses, wie die folgende Erläuterung zeigen wird⁹:

Thema des transzendentalen Ansatzes sind weder Strukturen noch Prozesse des Seins. Ihm geht es vielmehr um die Interaktion eines menschlichen Subjekts mit einem unbekanntem Gegenüber aus dem Objektbereich, welche aus der Perspektive des Subjekts zu beschreiben ist. Einschlägige Analysen bringen zahlreiche Belege dafür, dass der Mensch seine im Zuge dieser Interaktion stattfindenden Erfahrungen sehr erfolgreich nach dem Vorbild von Interpretationsmustern deutet, die sich im Zuge seiner Kontakte mit menschlichen Kommunikationspartnern bewährt haben. Alle naturwissenschaftlichen Begriffe und Modellvorstellungen verweisen damit letztlich auf Vorbilder aus dem Bereich der Typisierung von sozialen Strukturen und Prozessen.¹⁰

Überträgt man diese allgemeine Einsicht der transzendentalen Analyse auf das Welle-Teilchen-Problem, dann kommt man zu dem Schluss, dass die von der physikalischen Ontologie propagierte Denkfigur des dualen Seins der Quantenobjekte durch das aus menschlichen Kommunikationszusammenhängen bekannte Deutungsmodell des sich in unterschiedlichen **Erscheinungsformen** äussernden **Wesens** ersetzt werden sollte:

- So wie wir das innere Wesen unserer menschlichen Kommunikationspartner nicht mit ihren in verschiedenen Interaktionssituationen wahrnehmbaren Äußerungen verwechseln dürfen,
- sollten wir bei Quantenobjekten nicht annehmen, dass sie einmal Wellen, ein anderes Mal Teilchen **sind**
- sondern vielmehr davon ausgehen, dass wir es immer nur mit sich wellenförmig ausbreitenden Energiefeldern zu tun haben, die in bestimmten Interaktionssituationen gewisse Eigenschaften von Teilchen und in anderen solche von Wellen **zeigen**.

Im Kontext dieses Modells erschließt sich dann auch erstmals der eigentliche Sinn des **Komplementaritätsprinzips**. Letzteres weist großes theoretisches Potential auf, da es sich in seiner transzendentalen Analyse als allgemeines Wahrnehmungsmuster entpuppt, das (mit je spezifischen Abwandlungen) nicht nur für die Welt der Quanten Bedeutung besitzt.¹¹ Den Pionieren der Quantenphysik kommt zwar das Verdienst seiner Entdeckung zu - seine eigentliche Bedeutung haben sie jedoch nicht verstanden, da sie es in ontologischer Verblendung als eine weitere besondere Seinsstruktur der Welt der kleinsten Dinge interpretierten.

Wie die transzendente Analyse zeigt, stellt der menschliche Akteur durch kontinuierliche Anwendung dieses Interpretationsprinzips bei der Wahrnehmung der von seinem Handeln betroffenen Objekte sicher, dass die Art der Erscheinung jener Gegenstände stets ein Komplement zu seiner jeweils gewählten Handlungsform ist. Die im Handeln vollzogene Gegenstandswahrnehmung liefert ihm dadurch kontinuierlich auch Information über seinen eigenen Aktionsmodus. Dass also die Art der Erscheinung des Quantenobjekts (als Welle oder Teilchen) für den Experimentator ein Komplement zum jeweils gewählten experimentellen Arrangement darstellt, ist nur Ausdruck jenes allgemeinen Komplementaritätsprinzips.

Worin die Besonderheiten der quantenphysikalischen Variation dieses universellen Wahrnehmungsmusters bestehen, kann hier nicht ausgeführt werden¹², denn es ist

noch auf **drei weitere Vorzüge** der transzendentalen Deutung der Quantenmechanik hinzuweisen.

Der erste betrifft das Geschehen beim Kollaps der Wellenfunktion, für das die neuere Forschung das Konzept der sogenannten "**Dekohärenz**" entwickelt hat. Sie versteht darunter so etwas wie eine ‚Messung‘ des jeweiligen Quantenobjekts durch andere mit ihm interagierende Objekte.¹³ Aus ontologischer Perspektive sind aber nun einmal Objekte nichts weiter als Objekte und können als solche höchstens im Auftrag des Subjekts, aber niemals von sich heraus Messungen veranstalten. Das Subjekt ist jedoch der ontologischen Perspektive verloren gegangen. Für den transzendentalen Ansatz ist dagegen prinzipiell immer ein Subjekt vorhanden - und sollte (was der ‚Normalfall‘ ist) gerade keines anwesend sein, ist das hier auch kein Problem:

Dieser Ansatz weiß, wie zuvor erwähnt, dass die Menschen die im Objektbereich beobachteten Vorgänge nach dem Muster der Typisierung von sozialen Interaktionen begreifen. Er kann daher besagtes Deutungsprinzip auch zur Bewältigung der vorliegenden Schwierigkeit ins Spiel bringen und kommt dabei zu folgendem Resultat: Bei konsequenter Übertragung von sozialen Deutungsmustern auf den Bereich der Objekterfahrung werden die Gegenstände für den menschlichen Beobachter zu **virtuellen Subjekten**. Dies führt unter anderem dazu, dass sie virtuelle Messungen ganz ohne menschlichen Auftrag durchführen und damit einen Kollaps der Wellenfunktion auch ohne die unmittelbare Anwesenheit menschlicher Subjekte bewirken können. Dekohärenz ist daher aus transzendentaler Sicht (im Gegensatz zur ontologischen Perspektive) ein schlüssiges Konzept.

Der zweite noch zu erläuternde Vorzug des transzendentalen vor dem ontologischen Problemzugang betrifft das **Unbestimmtheitsproblem**. Dieses verschwindet zwar auch in der transzendentalen Perspektive nicht, zeigt sich aber im Vergleich zur Ontologie in deutlich entschärfter Form:

- Für die hier vorgeschlagene Sichtweise gibt es nämlich keine unbestimmten Bahnen von unbeobachteten Teilchen. Unbestimmt bleiben vielmehr bloß die genauen Orte und Zeitpunkte der möglichen Absorption von Energiefeldern. Diese sind ihrerseits hinsichtlich ihrer raumzeitlichen Ausbreitung und Stärke genau definiert, weisen aber einige vom klassischen Modell der elektromagnetischen Energiewelle abweichende Feldeigenschaften auf (quantisierte Emission/Absorption und nichtlokale Korrelation von feldbezogenen Ereignissen¹⁴).
- Die verbleibende Unbestimmtheit ist ferner kein definitives Fehlen von Determination, mit anderen Worten keine **ontologische** Unbestimmtheit. Es handelt sich vielmehr bloß um die **prinzipielle Nichterkennbarkeit** einer möglicherweise vorhandenen Kausalbeziehung. Besagte grundsätzliche Nichterkennbarkeit resultiert aus dem Zusammenspiel der bei der Beobachtung von Quantenobjekten unvermeidbaren Messunschärfe mit der Inkompatibilität der beiden Modelle, welche zur Beschreibung der sich wellenförmig ausbreitenden Energie und ihrer teilchenhaften Erscheinung verwendet werden.¹⁵

Schließlich kann auch die **Interpretation der Wellenfunktion** vor dem Hintergrund der transzendentalen Analyse des Subjekt-Objekt-Verhältnisses auf sichere Beine gestellt werden: Dass die Wellenfunktion unmittelbar weder Energiewellen noch die Bahnen von Teilchen, sondern die sich in Wellenform entwickelnde Wahrscheinlichkeit der Beobachtung von Teilchen darstellt¹⁶, ist den Physikern klar. Dass sich der Begriff der Wahrscheinlichkeit jedoch zwingend auf einen Interaktionsprozess bezieht, in dem einer der Partner (das Subjekt) mit Unsicherheit behaftete **Erwartungen** an das Verhalten des anderen (des Objekts) hegt, wird nur in der transzendentalen Perspektive deutlich. Nur in dieser Perspektive versteht man daher auch, dass jenes von der Wellenfunktion dargestellte Ausmaß der Erwartungssicherheit indirekt auf das tatsächliche Verhalten eines Quantenobjekts Bezug nimmt - dass also die wellenförmige Entwicklung der Erwartungssicherheit **indirekt** auf die wellenförmige Ausbreitung eines Quantenobjekts verweist, deren genaue Gestalt wegen der im Quantenbereich unvermeidlichen Beobachtungsunschärfe und der zuvor erwähnten Modellinkompatibilität nur im Sinne von Beobachtungswahrscheinlichkeiten erfassbar ist.

ZITIERTE LITERATUR

- (1) CZASNY, K. (2010 a), Erkenntnistheoretische Grundlagen der klassischen Physik, Band I, Klassische Mechanik und Relativitätstheorie, Ravensburg, Grin Verlag
- (2) CZASNY, K. (2010 b), Erkenntnistheoretische Grundlagen der klassischen Physik, Band II, Vertiefung der philosophischen Reflexion, Ravensburg, Grin Verlag
- (3) CZASNY, K. (2010 c), Quantenphysik als Herausforderung der Erkenntnistheorie, Freiburg i.Br., Verlag Karl Alber
- (4) MITTELSTAEDT, P. (1990), Objektivität und Realität in der Quantenphysik, in: Wieviele Leben hat Schrödingers Katze? Zur Physik und Philosophie der Quantenmechanik, Mannheim; Wien; Zürich, BI-Wissenschaftsverlag
- (5) MITTELSTAEDT, P. (2004), Interpretationsprobleme der Quantenmechanik, in: Philosophia Naturalis, 41, Seiten 227-244

Bei den folgenden Endnoten beziehen sich die in Klammern gesetzten Ziffern (1) bis (5) auf das vorangehende Literaturverzeichnis

- 1 Vgl. (1), (2), (3)
- 2 Vgl. (4), Seiten 131 - 136
- 3 Vgl. (3), Seite 49 f.
- 4 Vgl. (3), Seite 150 f.
- 5 Vgl. (3), Seite 152 f.
- 6 Völlig analoge Vorbehalte sind gegen die jüngeren Versuche, die Wellenfunktion auf dem Boden der physikalischen Ontologie mit dem Informationsbegriff zu verknüpfen, ins Treffen zu führen: Wie der Wahrscheinlichkeitsbegriff verliert auch der Informationsbegriff in einer Theorie, die keine Begriffe von Verhalten, Verhaltensmöglichkeit und Verhaltenserwartung besitzt, seinen Sinn; vgl. (3), Seite 153 f
- 7 Ein Überblick über die erwähnten Versuche und ihre Probleme findet sich in (5)
- 8 Vgl. (3), Seiten 49 - 54
- 9 Zur transzendentalen Interpretation des mit einem einzelnen Photon durchgeführten Doppelspaltversuchs und anderer aus ontologischer Perspektive nicht verstehbarer Experimente der Quantenoptik vgl. (3) Seiten 74 - 77
- 10 Vgl. (3), Seiten 20 - 26
- 11 Vgl. (3), Seiten 26 - 31
- 12 Eine detaillierte Antwort auf diese Frage findet man in (3), Seiten 36 - 46
- 13 Vgl. (3), Seiten 180 - 182
- 14 Unmittelbare Folge dieser nichtlokalen Korrelationen von Ereignissen sind die unter dem Stichwort ‚Verschränkung‘ diskutierten erkenntnistheoretischen Probleme der Quantenmechanik. Vgl. (3), Seiten 120 - 137
- 15 Gemeint ist die Inkompatibilität zwischen dem die Ausbreitung von Energiefeldern beschreibenden **Kontinuummodell** und dem auf diskrete Massepunkte und deren Bahnen abstellenden **diskontinuierlichen** Modell. Detaillierte Ausführungen zu dieser Inkompatibilität und zur Sicht des hier vertretenen erkenntnistheoretischen Ansatzes auf das Unbestimmtheitsproblem finden sich in (3), Seiten 78 – 111.
- 16 Um genau zu sein, ergibt das Quadrat des Betrags der Wellenfunktion an einem bestimmten Ort das Maß für die Wahrscheinlichkeit der Beobachtung des jeweiligen Teilchens am betreffenden Ort (bzw. in der hier vertretenen Sicht: ...der Beobachtung der teilchenartigen Erscheinung des jeweiligen Energiefeldes).