

Universität Stuttgart
Institut für Philosophie
Abteilung für Wissenschaftstheorie und Technikphilosophie
Seminar zur Einführung in die theoretische Philosophie
Dozent: Prof. Dr. Ch. Hubig

Sommersemester 2004

Das elementare Quantenphänomen

interpretiert anhand der aristotelischen Lehre von den vier Ursachen

Yven Johannes Leist
Schwabstr. 78
70193 Stuttgart
Telefon: 0711/6209170
E-Mail: leist@beldesign.de
Fächer: Engl./Phil.
Semester: 5/4

Inhaltsverzeichnis:

Einleitung.....	1
Grundgedanken der Kopenhagener Schule u. die Debatte Einstein-Bohr..	3
Materie und	
Form.....	8
Die vier	
Ursachen.....	9
Zusammenfassung.....	1
2	

Einleitung

Obwohl nun schon nahezu achtzig Jahre alt, erregt die Quantenmechanik und die Frage nach ihrer physikalischen und damit letztendlich auch der philosophisch-weltanschaulichen Interpretation auch heute noch die Gemüter, und die Diskussion welche der konkurrierenden Interpretationen denn nun für sich in Anspruch nehmen dürfe der Wirklichkeit¹ am nächsten zu kommen kann nicht auch nur ansatzweise als abgeschlossen betrachtet werden. Aufgrund des fundamental philosophischen Charakters der durch die Quantenmechanik aufgeworfenen Fragen hat sich unter Physikern allerdings vielerorts ein Pragmatismus durchgesetzt, der vielleicht seine eindeutigste Ausprägung fand in der berühmten "shut up and calculate" Interpretation Richard Feynmans, der als einer der bedeutendsten theoretischen Physiker der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, nicht müde wurde zu betonen dass wohl niemand die Quantenmechanik verstehe und dass z.B. die tiefere Frage nach dem "warum" des Verhaltens der Teilchen im berühmten Doppelspalt-Experiment "in eine dunkle Sackgasse führe, von der niemand bis jetzt entkommen sei". ("I think it safe to say that no one understands quantum mechanics. Do not keep saying to yourself, if you can possibly avoid, 'but how can it be like that?' because you will go 'down the drain' into a blind alley from which nobody has yet escaped. Nobody knows how it can be like that."²)

Eine zunächst ähnlich klingende Aussage findet sich bei Niels Bohr, der schrieb "Wer nicht schockiert ist wenn er die Quantenmechanik kennenlernt, der hat sie nicht verstanden". Bohr grundsätzliche Einstellungen bezüglich der *Möglichkeit* eines Verständnisses der der Quantenmechanik zugrundeliegenden Vorgänge ist jedoch in gewisser Hinsicht eine optimistischere als diejenige Feynmans; sie findet sich wohl am besten zusammengefasst in seiner durchaus faszinierenden Antwort auf Heisenbergs Frage, ob man denn die Quantenmechanik jemals verstehen werde, in der er ausführt: "Doch. Aber wir

1 Wobei an dieser Stelle die erkenntnistheoretische Frage nach der Interpretation des Wortes Wirklichkeit aus Komplexitätsgründen zunächst völlig außer Acht gelassen sei.

2 Richard Feynman, *The character of physical laws*, Penguin, p. 129

werden dabei gleichzeitig erst lernen, was das Wort verstehen bedeutet.“

Dies zeigt eine Haltung, die, um im Bilde Feynmans zu bleiben, davon ausgeht dass am Ende der dunklen Sackgasse u.U. doch ein Licht zu finden sei, auch wenn der Weg dorthin niemals ein einfacher sein kann.

Unter diesem Gesichtspunkt sei nun in dieser Arbeit versucht, ausgehend von den philosophischen Interpretationen bzw. Interpretationsansätzen der Kopenhagener Schule (die heutzutage oft auch als die orthodoxe Deutung der Quantenmechanik bezeichnet wird), einen elementaren Aspekt dieser Kopenhagener Deutung, das sog. Quantenphänomen mit Hilfe einer, jedem Philosophen zur Genüge bekannten Begrifflichkeit zu untersuchen, der Lehre von den vier Ursachen des Aristoteles. Diese Anknüpfung ist auch äußerlich durchaus motiviert, insofern als sich z.B. Sowohl bei Heisenberg, als auch bei Wolfgang Paul eine explizite Bezugnahme zu Aristoteles findet³.

Ich stütze mich in dieser Darstellung weitgehend auf das Buch von Jos Verhulst, „Der Glanz von Kopenhagen – Geistige Perspektiven der modernen Physik“⁴, in welchem in Anknüpfung an die Kerngedanken der Kopenhagener Schule, dieser Bezug zu den naturphilosophischen Konzeptionen des Aristoteles weiter verfolgt wird.

Zum Aufbau: Es soll zunächst versucht werden einen kurzen Überblick über die grundlegenden Aspekte der Quantenmechanik zu geben, wie sie von Heisenberg, Bohr, Pauli, und anderen ausgearbeitet wurde mit besonderer Beachtung der Kontroverse zwischen Einstein und Bohr, da sich an ihr sehr deutlich die gänzlich unterschiedlichen philosophischen Grundhaltungen Bohrs und Einsteins zeigen lassen, und erst diese Diskussion zu der radikalen Hinwendung Bohr zu einem rein phänomenalistischen Standpunkt, also der Setzung des Quanten*phänomens* (und nicht einer hypothetisch angenommen, hinter den Phänomenen verborgenen submikroskopischen Wirklichkeit) als elementarer Naturtatsache, führte.

Im weiteren soll versucht werden die Plausibilität der aristotelischen

3 Zu Heisenberg siehe Zitate auf S. 4. Pauli schrieb z.B.: „Die moderne Physik ist nun (...) an eine Stelle gelangt, wo sie den von Aristoteles (wenn auch noch in recht unklarer Weise) begonnen Weg weitergehen kann. (C.A. Meier. *Wolfgang Pauli und C.G. Jung. Ein Briefwechsel 1932-1958*, Springer Verlag 1992.)

4 Jos Verhulst: *Der Glanz von Kopenhagen – Geistige Perspektiven der modernen Physik*, Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1994.

Kategorien von Stoff und Form hinsichtlich des Verständnisses quantenmechanischer Vorgänge (sowie der oft erwähnten Unmöglichkeit der Herleitung der makroskopischer Form aus der quantenmechanischen Wellenfunktion) darzulegen, was gewissermaßen überführt zu der Frage ob sich, neben der Stoff- und Formursache auch die Ziel- und die Zweck-Ursache, (die in ihrer Gesamtheit nach Aristoteles am Zustandekommen jeglichen Phänomens beteiligt sind), auf die Beschreibung des elementaren Quantenphänomens anwenden lassen.

Als Abschluss soll noch einmal versucht werden die wichtigsten Punkte zusammenzufassen und ausblicksartig auf mögliche weltanschaulich-philosophische Konsequenzen der ausgeführten Überlegungen einzugehen.

Grundgedanken der Kopenhagener Schule und die Debatte Einstein-Bohr

Einer der entscheidendsten Unterschiede zwischen der klassischen, newtonschen Mechanik und der Quantenmechanik liegt, wie hinlänglich bekannt, in der Erkenntnis, dass bei der Beobachtung eines mikroskopischen Objekts, die Wechselwirkung die durch die Beobachtung entsteht (indem z.B. ein Photon auf das Objekt fällt), nicht wie bei makroskopischen Gegenständen als prinzipiell vernachlässigbar, sprich unendlich klein gedacht werden kann, und dass darüberhinaus (und dies ist ja das entscheidend Neue) nicht einmal der Einfluss dieser Wechselwirkung mit absoluter Genauigkeit bestimmt werden kann. Daraus ergibt sich, dass das klassisch gedachte, exakt bestimmte und sich deterministisch entwickelnde Objekt prinzipiell unwahrnehmbar bleiben muss, da jede Wahrnehmung die scharfe Bestimmtheit zunichte macht. Im Sinne der Quantenmechanik entwickelt sich das Objekt das durch den quantenmechanischen Formalismus beschrieben wird, also nur dann deterministisch wenn es nicht beobachtet wird. (Es verdient angemerkt zu werden, dass der Begriff "Beobachtung" hier letztendlich einer *Messung* in dem Sinne entspricht, dass z.B. das Anbringen einer Metallplatte im klassischen Doppelspalt-Experiment konstitutiv für die "Beobachtung" ist. Es besteht also kein Grund in den radikal

subjektivistischen Schluss zu verfallen, erst der *bewusste* Beobachtungsvorgang, also letztendlich das Bewusstsein des Beobachters erzeuge die physikalische Wirklichkeit. Das berühmte Paradox von Schrödingers Katze kann als Versuch gesehen werden die Schwierigkeiten zu demonstrieren, die sich aus einer solchen, zu vereinfachend subjektivistischen Sicht ergeben.)

Die Wahrnehmung bzw. Messung durchkreuzt nun diese deterministische Entwicklung auf eine Art und Weise die sich prinzipiell der Beschreibung durch die Wellenfunktion entzieht; die Messung wählt aus dem Muster an Möglichkeiten die durch die Wellenfunktion beschrieben werden aus, allerdings auf Kosten der beschriebenen Wechselwirkung die keine deterministische Sicht mehr erlaubt. Das klassische Objekt kann aus dieser Sicht also gewissermaßen als in zwei Pole zerfallend beschrieben werden:

- Im Falle des unbeobachteten, sich deterministisch entwickelnden Objekts entfällt der direkte Bezug zur physischen Raum-Zeit. (Der quantenmechanische Formalismus situiert das beschriebene Objekt in einem abstrakten Hilbert-Raum, der keinen direkten Bezug zur physischen Raum-Zeit hat.)
- Wenn das quantenmechanische Objekt jedoch in Raum und Zeit situiert werden soll, entfällt aufgrund der notwendigen Wechselwirkung infolge der Beobachtung das deterministische Verhalten.

Diese Zweiteilung lässt sich nun, wie im 2. Abschnitt näher ausgeführt werden soll, mit den aristotelischen Begriffen von Materie (Potenz) und Form in Verbindung bringen, die für Aristoteles zwei nicht aufeinander reduzierbare Aspekte der Substanz (des im Eigentlichen Sinne Seienden⁵) darstellen.

Um nocheinmal auf die philosophische Grundhaltung der Entdecker der Quantenmechanik zurückzukommen: Als es in den Jahren 1926/27 darum ging einen mathematischen Formalismus für die Beschreibung der experimentell gemachten Beobachtungen zu entwickeln, bestand die Grundidee Heisenbergs darin, nur Beziehungen zwischen prinzipiell exakt beobachtbaren Größen in die Berechnung einzuführen, er schreibt hierzu an Wolfgang Pauli: "Grundsatz ist: Bei der Berechnung von irgendwelchen Größen dürfen nur Beziehungen zwischen prinzipiell kontrollierbaren Größen

5 Aristoteles, *Metaphysik VII.1*

vorkommen". Pauli wiederum hatte keinerlei Schwierigkeiten mit dieser Sichtweise, hatte er doch selbst in einem Brief an Bohr seine Grundhaltung folgendermaßen charakterisiert: "Wir dürfen die Atome nicht in die Fesseln unserer Vorurteile schlagen (zu denen nach meiner Meinung auch die Annahme der Existenz von Elektronenbahnen im Sinne der gewöhnlichen Kinematik gehört), sondern wir müssen umgekehrt unsere Begriffe der Erfahrung anpassen."⁶

In einem weiteren Brief an Pauli drückt Heisenberg seinen Grundgedanken noch einmal sehr klar aus: "Meine Meinung über die Mechanik seit Helgoland ist von Tag zu Tag radikaler. [...] Es ist wirklich meine Überzeugung, dass eine Interpretation der Rydberg-Formel im Sinne von Kreis und Ellipsenbahnen in klassischer Geometrie nicht den geringsten physikalischen Sinn hat, und meine ganzen Bestrebungen gehen dahin, den Begriff der Bahnen, die man doch nicht beobachten kann, restlos umzubringen und geeignet zu ersetzen."⁷

Heisenberg und mit ihm später Bohr, Pauli und andere folgen hier also gewissermaßen einem phänomenologischen Prinzip das wesentlich für die goethesche Naturanschauung ist. Goethe formuliert es in seinen Maximen und Reflektionen mit am Deutlichsten, wenn er sagt: "Man suche nur nichts hinter den Phänomenen, sie selbst sind die Lehre".⁸

Doch entbrannte letztlich genau an diesem Punkt, sprich der Frage ob man nicht doch noch mehr "hinter den Phänomenen" annehmen müsse bzw. annehmen könne als bloße Gesetzmäßigkeiten der Streit mit Einstein, der z.B. versuchte die von Heisenberg postulierte Unschärferelation (sprich die Unmöglichkeit den Ort und den Impuls eines Teilchens zur gleichen Zeit zu messen) durch allerlei höchst einfallsreiche Gedankenexperimente zu umgehen. Diese Gedankenexperimente konnten alle von Bohr widerlegt werden, jedoch konnte sich Einstein trotzdem er diese Widerlegungen letztlich faktisch anerkannte musste, nie wirklich mit der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik abfinden, da er in den statistischen Eigenschaften der Quantenmechanik nur einen Ausdruck der Unvollständigkeit der physikalischen Theorie sehen wollte, nicht jedoch eine fundamentale Eigenschaft der Natur selbst. In dem Streit mit Einstein über eben diese grundlegende Frage gelangte Bohr letztendlich dazu das elementare, d.h.

6 K.V. Laurikainen, *Beyond the atom. The philosophical thought of Wolfgang Pauli*, Springer Verlag 1988.

7 A. Hermann, *Werner Heisenberg in Selbstzeugnissen und Bilddokumenten*, Rowohlt 1976.

8 Siehe z.B. <http://www.wissen-im-netz.info/literatur/goethe/maximen/1-14.htm> (892)

unteilbare Quanten*phänomen* als die fundamentale Naturgegebenheit aufzufassen, und nicht gewissermaßen anschaulich vorgestellte Elementarteilchen hinter der sinnlich-physikalisch wahrnehmbaren Welt (in der Tat scheinen solche Teilchen im klassischen Sinne auch nicht zu existieren, wenn man z.B. an den Welle-Teilchen Dualismus denkt!). Dies stand in schärfstmöglichen Gegensatz zu Einsteins Haltung, der die Hoffnung nicht aufgab, dass man letztlich doch zu einer strikt "objekt-basierten" Sicht zurückkehren könne, in der sich ein physikalisches Objekt immer vollständig durch einen Satz objektiver Variablen beschreiben lässt, also z.B. das quantenmechanische Wahrscheinlichkeitselement wieder verschwindet.

Ein physikalisches Experiment das mehrmals im Zentrum dieser Auseinandersetzung stand war der berühmte Doppelspalt-Versuch von Young, (durch den Young 1803 die Wellennatur des Lichts beweisen konnte).

In ihm wird monochromatisches Licht durch einen Doppelspalt geschickt, dessen Spaltabstand in der Größenordnung der verwendeten Wellenlänge liegt, wodurch auf dem dahinter angebrachten Schirm ein Interferenzmuster entsteht. Nun stellt man fest dass bei extremer Abschwächung der Lichtquelle keine gleichmäßige Abnahme der Intensität des Interferenzmusters erfolgt, wie eigentlich zu erwarten wäre, sondern plötzlich einzelne, unregelmäßige Punkte auftauchen, woraus man schließen muss, dass das Licht sich nun plötzlich doch wie ein Teilchen verhält. Unglaublicherweise, stellt sich nach einer gewissen Zeit aber nun wiederum ein Interferenzmuster ein, d.h. obwohl die "Lichtelemente" (Photonen) nacheinander durch den Doppelspalt wandern, scheinen sie mit sich selbst zu interferieren, da sonst ja die Erscheinung des Interferenzmusters gänzlich unerklärlich bliebe. Dies heißt aber, dass das Photon kein klassisches Teilchen sein kann, da es ja sonst immer nur durch einen der beiden Öffnungen gehen könnte. Die Deutung dieses mysteriösen Sachverhalts lautet nach der Kopenhagener Deutung folgendermaßen:

Was durch den Versuchsaufbau geht, ist in Wahrheit gar nichts klassisch Materielles (sei es Welle oder Teilchen) sondern "nur" eine objektive Wahrscheinlichkeit (Potenz), die durch die Wellenfunktion beschrieben wird. Die nach und nach entstehenden Schwärzungen auf der Photoplatte folgen dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung und bauen so nach und nach das

aufgrund der Wellenfunktion erwartete Interferenzmuster auf. Einstein der sich mit dieser Deutung nicht abfinden wollte, hatte nun, wie schon erwähnt, die Hoffnung durch verschiedene Gedankenexperimente beweisen zu können, das diese Sicht unvollständig sei. So stellte er die Frage ob es denn nicht doch möglich wäre festzustellen durch welchen Spalt das Photon gehe. Die zu diesem Zweck von ihm vorgeschlagene Abänderung des Versuchsaufbaus bestand darin, den ersten Schirm (dessen Spalt als Lichtquelle dient) beweglich aufzuhängen, und aufgrund der Abstoßung die das Photon auf den beweglichen Schirm nach oben oder nach unten ausübt darauf zu schließen ob es anschließend durch den oberen oder den unteren Spalt des zweiten Schirms (des eigentlichen Doppelspalts) gegangen sei. Bohr bewies die Unmöglichkeit einer solchen Feststellung, da sie aufgrund der notwendigen Wechselwirkung das überhaupt erst zu erklärende Phänomen verhindert. Die Grundidee der Widerlegung beruht im Kern auf der Überlegung, die auch zur Formulierung der Unschärferelation führte. Extrem verkürzt könnte man sie wie folgt zusammenfassen: Dadurch, dass der erste Schirm schwebend aufgehängt wird, kann er nicht mehr als klassisches Objekt betrachtet werden, was dazu führt, dass die zur Feststellung seiner Verschiebung notwendige Messung und die durch sie verursachte Wechselwirkung mit dem Schirm das Zustandekommen des Beugungsmusters verhindern. (Tatsächlich zeigen quantitative Rechnungen dass die durch das Heisenberg-Mikroskop verursachte minimale Unbestimmtheit des Schirms nach der Positionsbestimmung vollkommen ausreicht, das Interferenzmuster verschwinden zu lassen.) Die Generalisierung der an diesem und und ähnlicher Experimenten gewonnen Erkenntnis, brachte Bohr nun, wie schon beschrieben, zu der Überzeugung dass man letztlich immer nur von einem unteilbaren Quantenphänomen⁹ sprechen könne, für dessen Zustandekommen die exakte Angabe der makroskopischen Apparatur zwingend notwendig sei. Ferner erfordert die Unmöglichkeit der Beschreibung dieser Apparatur mittels der Quantenmechanik die Anerkennung ihres fundamentalen, d.h.

⁹ Bohr führt dies z.B. folgendermaßen aus: Die wesentliche Ganzheit eines wirklichen Quantenphänomens findet [...] ihren logischen Ausdruck in der Umstand, dass jeder Versuch, sie in wohldefinierte Teilphänomene zu zerlegen, eine Veränderung der experimentellen Anordnung verlangen würde, die selbst wieder mit dem Erscheinen des Phänomens unvereinbar wäre“.

nichtreduzierbaren Charakters für das Zustandekommen der Wirklichkeit. Dieser Zusammenhang zwischen makroskopischer, nichtreduzierbarer Form und Potenz im Sinne der Möglichkeit (repräsentiert durch das Photon) soll im nächsten Abschnitt noch einmal mit den aristotelischen Begriffen von Materie (Potenz) und Form verglichen werden.

Materie und Form

Für Aristoteles, sind, wie schon ausgeführt, Materie und Form zwei nicht aufeinander reduzierbare Aspekte der Substanz. Er kennzeichnet das Verhältnis der wechselnden Erscheinungen (des Seienden) zum Sein, indem er Bewegung, das Werden und das Geschehen als Verwirklichung (Form, Akt) einer Möglichkeit (Stoff, Potenz) beschreibt.

Diese Begriffe können nun auch auf den Versuch von Young angewandt werden, indem, wie schon angedeutet, der Versuchsaufbau, (der in seiner festgelegten Aufstellung für das Erscheinen des Phänomens, also des Beugungsmusters unabdinglich ist) mit dem Begriff dessen was als äußerlich sichtbare Form schon als verwirklicht (realisiert) angesehen werden muss, also der Form im aristotelischen Sinne, identifiziert wird. (Die in dem aristotelischen Begriff ebenfalls beinhalteten sog. sekundären Qualitäten wie Farbe, Geruch, etc. können hier außer Acht gelassen werden, da sich zumindest die gewöhnliche Naturwissenschaft nicht direkt mit ihnen befasst.) Demjenigen was erst *wird*, was also im elementaren Sinne noch *Mögliches* enthält, (also der aristotelischen Materie im Sinne einer Potenz), entspricht hingegen das Photon, das nicht als materielles Teilchen im klassischen Sinne aufgefasst werden kann.

In der Begrifflichkeit der vier Ursachen lässt sich also der Versuchsaufbau mit der formalen Ursache identifizieren; der materiellen Ursache, (im Sinne Aristoteles also der Potenz, bzw. der Möglichkeit) entspricht im Rahmen des Versuchs von Young hingegen das Photon, das tatsächlich eine, durch den quantenphysikalischen Formalismus beschriebene, reine "Potenz" darstellt, die sowohl zu einer teilchen- als auch zu einer wellenartigen Erscheinung führen kann. Verhulst schreibt hierzu zusammenfassend: "Das Photon ist also

weder Teilchen noch Welle. Es ist objektive Potenz."¹⁰

Heisenberg bezieht sich ausdrücklich auf diesen Sachverhalt, indem er schreibt: "Die Naturgesetze bestimmen nicht das Eintreten eines Ereignisses, sondern die Wahrscheinlichkeit für dieses Eintreten [...]. Damit war ein entscheidender Schritt von der klassischen Physik weg vollzogen, und im Grunde war damit auf eine Begriffsbildung zurückgegriffen, die schon in der Philosophie des Aristoteles eine wichtige Rolle gespielt hatte. Man kann die Wahrscheinlichkeitswellen [...], als eine quantitative Fassung des Begriffs der 'dynamis', der Möglichkeit, oder in der späteren lateinischen Fassung der 'potentia' in der Philosophie des Aristoteles interpretieren. Der Gedanke dass das Geschehen selbst nicht ganz zwangsläufig bestimmt sei, sondern dass die Möglichkeit oder die 'Tendenz' zu einem Geschehen selbst eine Art von Wirklichkeit besitze, - eine gewisse Zwischenschicht von Wirklichkeit, die in der Mitte steht zwischen der massiven Wirklichkeit der Materie und der geistigen Wirklichkeit der Idee oder des Bildes-, dieser Gedanke spielt in der Philosophie des Aristoteles eine entscheidende Rolle."¹¹

(Die explizite Bezugnahme Heisenbergs auf Aristoteles ist übrigens auch insofern von Interesse, als Heisenberg die Erkenntnisse der Quantenmechanik ursprünglich rein platonisch deutete, d.h. die fundamentale Realität zunächst ausschließlich dem von ihm gefundenen mathematischen Formalismus zusprach, was zu einer scharfen Auseinandersetzung mit Bohr führte, den die *rein* mathematische Beschreibung der Phänomene nicht befriedigte, und der zu für die Naturbeschreibung geeigneten *physikalischen Begriffen* durchstoßen wollte¹²)

Die vier Ursachen

Angeichts der obig skizzierten Bezüge zu den ersten beiden Ursachen des Aristoteles (Stoff- und Form-Ursache) scheint es sinnvoll nach der Anwendbarkeit der beiden übrigen Ursachen, also der Ziel- und der Wirkursache auf die Analyse des Quantenphänomens zu fragen:

Betrachtet man nocheinmal den Versuch von Young, so ist festzustellen, dass

10 Verhulst, S. 172

11 W. Heisenberg, *Die Planksche Entdeckung und die philosophischen Probleme der Atomphysik*, Universitas, 14/1959, S. 135 - 148

12 Vgl. Verhulst, S. 17-19

die einzelnen Schwärzungen zunächst völlig willkürlich erscheinen; da die einzelnen Punkte bei längerer Versuchsdauer jedoch anfangen ein Interferenzmuster zu bilden, werden eindeutig bestimmte Punkte der Photoplatte mit höherer Wahrscheinlichkeit geschwärzt als andere, dies sind die Wahrscheinlichkeiten die sich mittels der Wellenfunktion tatsächlich berechnen lassen. Die durch das Photon und seine Wellengleichung beschriebene Potentialität (eine Schwärzung erscheinen zu lassen) umfasst also eine Summe an Möglichkeiten mit denen verschiedene Wahrscheinlichkeiten verbunden sind. Die verschiedenen Möglichkeiten sind nun zunächst ontologisch gleichwertig, insofern als sie alle auf dieselbe Weise möglich sind. Es lassen sich also zwei weitere Fragen stellen:

- 1: Welcher Faktor wählt eine der Möglichkeiten für die Aktualisierung aus?
2. Wodurch wird die gewählte Möglichkeit in die physische Realität projiziert?

John Wheeler schreibt hierzu: "Beim individuellen Quantenprozeß kommt die Vorhersage an ihr Ende. Die Naturwissenschaft braucht sich dieser Einsicht nicht zu schämen. Sie muss sie nur ehrlich eingestehen. Warum soll man von der Naturwissenschaft eine Ursache verlangen, wo keine ist?"¹³

Es gibt also tatsächlich keine Ursache die durch die Naturwissenschaft beschreibbar wäre, denn sonst würde es sich bei den durch die Wellenfunktion beschriebenen Wahrscheinlichkeiten um reine Scheinwahrscheinlichkeiten handeln. Die Gleichwertigkeit zwischen den Möglichkeiten muss jedoch durch einen Faktor der jenseits des Wirklichkeitsniveaus der Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten liegt, gebrochen werden. Dieser Faktor lässt sich nun passend als die Zielursache des Phänomens beschreiben, denn er führt ja letztlich zu einem bestimmten Ziel, der Tatsache dass ein ganz *bestimmter* Punkt geschwärzt wird. Darüberhinaus muss jedoch noch ein Faktor existieren, der die durch die Zielursache gewählte Möglichkeit tatsächlich in die physische Realität projiziert. Dieser Faktor ist gewissermaßen dasjenige was tatsächlich wirkt, er bewirkt die tatsächliche Schwärzung im Zusammenspiel mit der Zielursache, die aus den objektiv gegebenen Möglichkeit der Wellenfunktion (also der Materie oder Potenz, bzw. der materialen Ursache) auswählt. Somit können wir ihn als die Wirkursache (*causa efficienz*) bezeichnen.

¹³ John Wheeler, *Quantum physics and the philosophical tradition*, Princeton, 1968.

(Dass die Formursache, repräsentiert durch die makroskopischen Formen des Versuchsaufbaus, fundamental für das tatsächliche Erscheinen des Phänomens nötig ist, wurde ja schon dargelegt.)

Entscheidend ist nun, dass die beiden letzten Faktoren (also die Ziel- und Wirkursache) prinzipiell nicht durch die quantitativen und analytischen Möglichkeiten der rationalen Naturwissenschaft beschreibbar sind. D.h., die naturwissenschaftliche Theorie grenzt gewissermaßen nur das Gebiet ab, innerhalb dessen diese irrationalen, bzw. kreativen Faktoren wirksam sind. Verhulst schreibt hierzu zusammenfassend: "Die Physik studiert die formale und die materielle Ursache, sie behandelt nicht die irrationale Willensseite der Natur, die bestimmt, was (innerhalb der Grenzen der Naturgesetze) wirklich geschieht. Wird ihr ein Satz von Standardbedingungen gegeben, kann die Physik die möglichen Ausgänge und auch die Wahrscheinlichkeiten, mit denen die verschiedenen Ausgänge auftreten können, bestimmen. Aber die Standardbedingungen selbst können nicht berechnet werden; sie resultieren aus dem Beitrag, den die wirkende Ursache eines vorherigen Phänomens liefert. Ebenso wenig kann die Naturwissenschaft das wirkliche Ergebnis eines individuellen Phänomens berechnen; das Ergebnis wird durch die finale und die wirkende Ursache des Phänomens bestimmt."¹⁴ Die Naturwissenschaft kann aus diesem Grunde das Phänomen nie vollständig beschreiben, woraus aber nicht auf die Unvollständigkeit der heutigen naturwissenschaftlichen Theorien geschlossen, sondern erkannt werden sollte, dass die Wirklichkeit prinzipiell nicht vollständig durch *physikalische* Gesetze beschreibbar ist.

Was also aus den obigen Ausführungen folgt, ist eine sinnvoll erscheinende Begrenzung des Geltungsanspruches der Physik.

Pauli bemerkte hierzu in einem Brief an C.G. Jung: "Ich sagte damals zu Bohr, Einstein halte für eine Unvollständigkeit der Wellenmechanik innerhalb der Physik, was in Wahrheit eine Unvollständigkeit der Physik innerhalb des Lebens sei. Diese Formulierung hatte Herr Bohr sofort akzeptiert"¹⁵

14 Verhulst, S. 193

15 C.A. Meier, Wolfgang Pauli und C.G. Jung Ein Briefwechsel 1932-1958, Springer Verlag 1983.

Zusammenfassung

Aufgrund der Komplexität des Themas wurde in dieser Arbeit in Anlehnung an die Aussagen von wichtigen Vertretern der Kopenhagener Schule, sowie der weitergehenden Ausarbeitung dieser Aussagen durch Jos Verhulsts "Der Glanz von Kopenhagen", gewissermaßen eine weitgehend immanente Interpretation der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik unternommen. Es wäre nun selbstverständlich notwendig diese Interpretation in einen weiteren Rahmen zu stellen, sprich sie kritisch mit den übrigen Interpretationsansätzen zu vergleichen, wie z.B. der Bohmschen Quantenmechanik (die auf einem grundsätzlich anderen mathematischen Formalismus aufbaut), der Viele-Welten Interpretation (die davon ausgeht, dass im Moment des Messvorgangs eine Spaltung in Paralleluniversen stattfindet) und anderen. Dies konnte hier leider aus Zeit- und Raumgründen noch nicht geleistet werden und muss einer erweiterten Version vorbehalten bleiben. Trotz dieser Einschränkung sollte aus der rudimentären Darlegung der Bohr-Einstein Debatte sowie der an sie anschließenden Problemstellungen doch wenigstens anfänglich eine kritische Einbettung in die grundlegende Kontroverse zwischen einer "aristotelisch-phänomenalistischen" Sicht, repräsentiert durch die Kopenhagener Deutung, und der quasi-klassischen "objektiven" Sicht Einsteins (im Sinne einer Erklärung der physikalischen Welt durch die reine Annahme einer Interaktion von klassisch gedachten Objekten) gegeben worden sein.

Die Konsequenzen einer Annahme der phänomenalistischen Sicht der Kopenhagener Schule sind natürlich weitreichend. Dies wurde versucht zu zeigen anhand der möglichen Interpretation des elementaren Quantenphänomens durch die Lehre von der vier Ursachen des Aristoteles, die einen, aus Sicht der Naturwissenschaft irrationalen Einfluss auf die physische Wirklichkeit deutlich macht: zum einen durch die Ziel-Ursache die die ontologische Gleichwertigkeit zwischen den durch die Wellenfunktion beschriebenen Möglichkeiten bricht, und zum anderen durch die Wirk-Ursache, die die gewählte Möglichkeit in die physische Wirklichkeit projiziert.

(Hier sei nochmal darauf verwiesen, dass die Annahme einer Ziel-Ursache in diesem Sinne, vereinbar ist mit Teleologie, diese aber nicht notwendigerweise impliziert. Die Frage nach Teleonomie vs. Teleologie in der Biologie z.B. darf also als nach wie vor offen bezeichnet werden, sollte aber eben auch nicht aus einer reflexartigen Ablehnung der aristotelischen Vorstellung von Teleologie zugunsten der Teleonomie entschieden werden, wie dies meines Wissens heutzutage noch nahezu ausnahmslos geschieht.)

Auch in der Frage um die Natur geistig-mentaler Prozesse wird von naturalistischer Seite oft noch mit einer, angeblich aus einer naturwissenschaftlichen Sichtweise folgenden kausalen Abgeschlossenheit der physikalischen Welt argumentiert, eine Annahme die jedoch durch die obig beschriebenen Erkenntnisse keinesfalls mehr ohne Weiteres angenommen werden sollte, und die gerade durch die Nichtbeachtung der *naturwissenschaftlichen* Erkenntnisse und ihrer Implikationen an Wissenschaftlichkeit verliert. (Tatsächlich erinnert diese oft als scheinbar selbstverständliche betrachtete Annahme stark an die "vor-quantenmechanische" Sicht der Physik von Newton und Laplace in der die Annahme eines *physikalisch* determinierten Kausalnexus gewissermaßen die elementarste Grundannahme darstellte.)

An den Schluss sei hier noch eine allgemeinere Bemerkung gestellt: Eine verstärkte Beschäftigung und wissenschaftstheoretische Behandlung der in dieser Arbeit angesprochenen Thematik erschien mir äußerst wünschenswert, gerade auch aus dem Grunde dass es eine durchaus unglückliche Spaltung zu geben scheint, in das Lager der extremen Naturalisten einerseits, die in letzter Zeit mit drastischer, oft äußerst populistischer Vehemenz auftreten¹⁶ und die jegliches Bewusstsein für diese Erkenntnisse der modernen Physik und ihrer Implikationen auszublenden scheinen, und das Lager unerquicklicher Esoteriker andererseits, die fernab jeglicher wissenschaftlichen Systematik spektakuläre Einzelergebnisse der Quantenmechanik (wie beispielsweise die zweifelsohne geheimnisvolle Verschränkung von Elementarteilchen), als billige Zutat in ihre allzu schlichte

16: Ich denke hier z.B. an Wissenschaftler wie Gerhard Vollmer, Wolf Singer oder Gerhard Roth, deren Anspruch die biologische Determiniertheit neuronaler Prozesse (und damit verbunden der seelisch-geistigen Innenwelt des Menschen) als quasi- unausweichliche Konsequenz anvisiert zu haben, (bzw. sogar anvisieren zu müssen!), bei näherer Besichtigung des tatsächlichen Forschungsstandes kaum gerechtfertigt erscheinen kann.

Weltsicht integrieren. Eine verstärkte wissenschaftlich-philosophische Beschäftigung mit dieser Thematik, die hier zumindest ansatzweise versucht wurde, könnte u.U. helfen diese Einseitigkeiten auszugleichen.