

HOCHSCHULE FÜR PHILOSOPHIE - PHILOSOPHISCHE FAKULTÄT S.J.

M Ü N C H E N

Hauptseminar: Quanten verstehen - Zur philosophischen Interpretation der Quantenmechanik

Leiter: Dr. Stephan Bauberger S.J.

Hegels „bedingter Realismus“ im Vergleich zur epistemischen
Interpretation der Quantenmechanik (Kopenhagener Deutung)

von

Alexander Rager

Wintersemester 2000/2001

INHALTSVERZEICHNIS

1. Hundert Jahre Quantenphysik	3
1.1 Einhundert Jahre Interpretation der Quantenmechanik	3
1.2 Die Quantenmechanik und Hegel	5
2. Ergebnisse der Quantenfeldtheorie und Quantenphysik	7
2.1 Das quantenmechanische Prinzip der Nicht-Individualität (Holismus)	7
2.2 Welle-Teilchen-Dualismus und Meßprozeß	8
2.3 Die Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik	10
3. Hegels „bedingter Realismus“ im Vergleich zur epistemischen Interpretation	13
3.1 Der Stellenwert von Hegels Logik und Dialektik in seinem Werk	13
3.2 Die Seinsparagraphen der Logik	14
Enz § 86, WdL I <i>Sein</i>	15
Enz § 87, WdL I <i>Nichts</i>	16
3.3 Dialektische Erkenntnis bei Hegel	17
4. Zusammenfassung und Interpretation	19
4.1 Drei mögliche philosophische Argumentationstypen der ontologischen Zuordnung von Subjekt (Geist, Idee) und Objekt (Materie, Realität):	19
4.2 Der Vorteil des bedingten Realismus von Hegel bei der Interpretation	20
4.3 Hegel und Heisenberg	21
Literaturverzeichnis	25

1. Hundert Jahre Quantenphysik

1.1 Einhundert Jahre Interpretation der Quantenmechanik

„Insoweit unterscheidet sich ein Quantenrechner noch nicht von einem konventionellen. Die beiden Grundzustände der zweiwertigen Logik werden lediglich durch zwei stabile Zustände eines quantenphysikalischen Systems dargestellt. Doch wo ein gewöhnlicher Kondensator entweder geladen oder ungeladen ist und für eine Eins oder Null, nicht aber beides zugleich steht -, ein Bit der Booleschen Logik ist stets entweder Eins oder Null - kann ein Quantensystem auch in einem Zustand der Überlagerung existieren, in dem es die Null und Eins gleichzeitig darstellt - beispielsweise, wenn ein Atom sich in einem zeitabhängigen Mischzustand von Grund- und angeregtem Zustand befindet. Das eröffnet der Informatik eine zusätzliche Dimension“ (Sietmann 2000, S. 131).

Am 14. Dezember 1900 leitete Max Planck eine Revolution in der Physik ein, die in der technischen Nutzung bis heute andauert. Was er zunächst als mögliche Erklärung für die Ungeheimheiten der Temperaturstrahlung präsentierte, erwies sich als so folgenreich, dass eine adäquate philosophische Interpretation der Bedeutung der Quantenphysik bis heute (noch) nicht erfolgt ist. Von der nachwachsenden Generation Physiker wurden Plancks Erkenntnisse zwar aufgegriffen und weiterentwickelt, meist jedoch nur im Rahmen des naturwissenschaftlich-mathematischen Formalismus. Die Quantentheorie ist mittlerweile *die* Grundlagentheorie der gesamten Physik und es gibt keinerlei (physikalische) Anhaltspunkte oder Experimente, die ihre Richtigkeit und Gültigkeit in Frage stellen. Wenn an ihrer „Wahrheit“ gezweifelt wird dann deshalb, weil sie mit grundlegenden Vorstellungen unserer Alltagswelt kollidiert.

Neben der mathematischen Weiterentwicklung wie z.B. der Schrödinger-Gleichung oder der Heisenbergschen Matrizenmechanik ging es insbesondere Niels Bohr und Werner Heisenberg auch um das Nachdenken darüber, was diese Theorie und die ihr zugrundeliegenden Phänomene über die Physik, und damit die Welt im Allgemeinen, aussagen. Es war ihnen ein so wichtiges Anliegen, dass beide mit ihren Überlegungen maßgeblich zur sogenannten „Kopenhagener Deutung“ der Quantenmechanik beitrugen. „Es ging darum [...] hinter der formalen mathematischen Struktur den ‘physikalischen Kern bloßzulegen’“ (Hermann 1994, S. 38).

Da die Physiker zur Zeit der Entdeckung und Entwicklung der Quantenmechanik oft noch eine philosophische Grundbildung hatten, wurde natürlich auch um eine ontologische Interpretation gerungen. Dabei bildeten sich bald zwei Lager heraus: Die „Realisten“, denen z.B. Einstein und Schrödinger angehörten, sowie die Richtung der sogenannten „Kopenhagener Deutung“ (benannt nach der Veröffentlichung von Heisenberg und Bohr 1927 in Kopenhagen).

Die in dem Manuskript „Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik“ beschriebene Unschärferelation von Heisenberg setzte sich durch und prägte von nun an, zusammen mit dem Komplementaritätsprinzip von Bohr, den Denkstil der Physik und Naturwissenschaften.¹

Die Kopenhagener Deutung ist im Prinzip eine epistemische Deutung von Naturwissenschaft und Wissen (und damit dem Kant'schen Ansatz ähnlich), d.h. in der Theorie der Quantenmechanik ist das (momentane) Wissen des Menschen über die Welt repräsentiert. Ob die eigentliche Welt dahinter dem Menschen zugänglich ist, ist damit noch nicht von vornherein entschieden, mehrheitlich jedoch wird sicherlich vertreten, dass die Welt dahinter nicht erkennbar sei, das „Ding an sich“ bzw. die „reale Welt“ menschlicher Erkenntnis also prinzipiell verborgen bleibt.² Dies kollidiert allerdings nicht nur mit dem Impetus von Wissenschaft, sondern auch mit dem Alltagsverständnis von Wirklichkeit, auf dem die klassische Physik und Mechanik aufgebaut ist.

Die Realisten³ nehmen deshalb an, dass die Quantenphysik noch unvollständig ist und in diesem Sinne nur eine provisorische Theorie darstellt. Dabei vermuten sie in der Regel weitere, noch verborgene Parameter.⁴ Gerade weil die Interpretation der Quantenmechanik so sehr unseren Vorstellungen der Alltagswelt und ihren Begriffen zuwider läuft, herrscht wohl auch unter vielen Philosophen die Überzeugung vor, dass dies zwar eine nette und wichtige Theorie der Physik ist, aber nichts mit der „Realität“ zu tun hat.

Was aber, wenn diese Theorie wahr ist? Was sagt sie dann über die „Realität“ aus? Dies führt zu dem Versuch einer ontologischen Deutung. Bei einer philosophischen Interpretation der Quantenmechanik muss man natürlich aufpassen, „daß nicht durch umgangssprachliche Transposition Kategorien eingeschmuggelt werden, die der Physik selber fremd sind“ (Mutschler 1990, S. 141). Erst eine Transposition der mikrophysikalischen Ereignisse in die Welt der Alltagserfahrung erzeugt ja die Widersprüche, d.h. in der physikalisch-mathematischen Formulierung ist die Quantentheorie konsistent, erst wenn man anfängt, sich die Sache sinnlich vorzustellen, wird sie absurd. In diesem Sinne soll sie also nicht interpretiert werden. Wenn die Theorie jedoch im ontologischen Sinne wahr ist, dann macht sie Aussagen über die Realität.

¹ Vgl. dazu auch Hermann 1994, S. 29 - 45

² Die Kopenhagener Deutung sagt dazu weiter aus, dass in der Quantenmechanik alles nur wißbare in ihren Formeln beschrieben ist (in der Ψ -Funktion). Die Beschreibung innerhalb der Formeln der Quantenmechanik ist komplett und damit vollständig determiniert.

³ Moderne Vertreter dieser Richtung sind vor allem Bohm und 't Hooft. Sie handeln sich bei ihren Theorien jedoch mehr Schwierigkeiten ein, als sie auf der anderen Seite lösen können. Auch sind ihre Theorien aufwändiger und komplizierter als die vergleichsweise einfache Quantenmechanik. Vor allem aber teilt die Natur selbst mit, „daß es die umstrittenen Bestimmungsstücke [verborgenen Parameter] gar nicht gibt, daß unsere Kenntnis schon ohne neue Bestimmungsstücke vollständig ist“ (Weizsäcker, zitiert nach Heisenberg, S. 67).

⁴ Der Realismus kann auch in eine andere Richtung interpretiert werden, nämlich in die sogenannte „Vielweltentheorie“ oder „Viele-Bewußtseine-Theorie“. Diese werden aber kein weiterer Gegenstand der Seminararbeit sein.

Mit der Realität unserer Alltagswelt, wie sie uns der Augenschein und Sachverstand nahelegt, ist es dann allerdings nicht ganz so leicht bestellt, wie man intuitiv annimmt.

1.2 Die Quantenmechanik und Hegel

Zu den Zeiten, in denen Hegel lebte und seine philosophischen Werke verfasste, gab es noch keine Quantentheorie und die gesamte Physik dieser Zeit war der klassischen newtonschen Mechanik verpflichtet. Warum kann man dann auf Hegels Gedanken zurückgreifen? Nun vielleicht deshalb, weil die Quantenmechanik möglicherweise auf der Objektseite etwas aufzeigt, was Hegel auf Seiten des denkenden Subjekts entdeckt zu haben glaubte. Hegels erkenntnistheoretische Philosophie gehört dem (objektiven) Idealismus an. Der Kerngedanke des Idealismus ist der, dass die realen Objekte der Wirklichkeit nicht unabhängig von denkenden und erkennenden Subjekten erkannt werden können.

In der Argumentation Kants (kritischer Idealismus) wird dies als erstes aufgewiesen. Das Objekt affiziert die Sinne des Menschen. Der Verstand legt darüber aktiv seine Kategorien, so dass eine Erkenntnis für den Menschen möglich wird. Das "Ding an sich" ist jedoch bei Kant menschlicher Erkenntnis unzugänglich, denn nur wie es erscheint, kann der Mensch mit Hilfe seiner Kategorien ordnen. Da alle Menschen diese Voraussetzungen haben, handelt es sich gleichwohl um objektive Voraussetzungen, um die transzendentalen "Bedingungen der Möglichkeit" von Erkenntnis.

Und genau hier schneiden sich die grundlegenden Gedanken von Hegel mit der modernen Quantenphysik. Nachdem die Logik die Ontologie in Hegels Werk⁵ darstellt, also die Erklärung des Aufbaus der Welt, und damit Realität, beansprucht, soll seine Logik quantenphysikalischen Ergebnissen gegenübergestellt werden. Da es zur Interpretation der Hegelschen Logik in Bezug zur Quantenphysik aber wenig bis keine Sekundärliteratur gibt, werde ich mich am Originaltext orientieren ohne auf Interpretationen zurückzugreifen (Teil III).⁶ Dies kann zwar möglicherweise den Sinn bestimmter Aussagen im Rahmen des Gesamtwerkes verfremden, bietet aber den Vorteil, die Parallelität direkter aufzuzeigen. Ich beziehe mich dabei einerseits auf die Suhrkamp Ausgabe der „Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften“ (Enz), da sie die oft sehr hilfreichen Zusätze enthält, die jedoch „nur“ Vorlesungsmitschriften sind und damit nicht von Hegel selbst verfasst, und andererseits auf „Die Wissenschaft der Logik I & II“ (WdL I & II).

⁵ „Wenn wir auf die letzte Gestalt der Ausbildung dieser Wissenschaft Rücksicht nehmen, so ist [es] erstens unmittelbar *Ontologie*, an deren Stelle die objektive Logik tritt [...]“ (Hegel WdL I, 61).

⁶ Dabei soll nicht der Anspruch erhoben werden, das Gesamtwerk Hegels auch nur annähernd miteinzubeziehen oder vor diesem Hintergrund seine Logik zu verifizieren oder falsifizieren.

Von Seiten der Elementarteilchenphysik wird es um die Problematik der Nicht-Individualität und des Holismus gehen, von Seiten der Quantenmechanik im Wesentlichen um den Welle-Teilchen-Dualismus und, damit verbunden, die ausgezeichnete Rolle des Meßprozesses (Teil II). Bei diesen Ausführungen beziehe ich mich ausschließlich auf das Skript „Naturphilosophie. Grenzfragen der Physik. Aufbau der Materie, Kosmologie, Quantentheorie“, meine Vorlesungsmitschriften der Vorlesung Naturphilosophie I sowie die Protokolle und Mitschriften des Seminars „Quanten verstehen: Zur philosophischen Interpretation der Quantenmechanik“ von Dr. Bauberger S.J.. Die Aussagen der Kopenhagener Deutung entnehme ich im Wesentlichen den Aufsatzsammlungen “Schritte über Grenzen” und “Quantentheorie und Philosophie” von Werner Heisenberg.

Am Ende der Seminararbeit (Teil IV) soll versucht werden, die Relevanz des Hegelschen Denkens für eine adäquate Deutung der Quantenmechanik (und den Unterschied zur epistemischen Deutung) - im Vergleich zum Denken Heisenbergs - aufzuzeigen.

2. Ergebnisse der Quantenfeldtheorie und Quantenphysik

2.1 Das quantenmechanische Prinzip der Nicht-Individualität (Holismus)

„Klassische Objekte sind prinzipiell voneinander unterscheidbar. D.h.: Selbst wenn sie so gleich aussehen, dass sie praktisch nicht unterschieden werden können, so verhalten sie sich doch genauso wie wenn sie unterscheidbar sind. Gleichartige Elementarteilchen sind dagegen prinzipiell nicht voneinander unterscheidbar. Es fehlt ihnen eine Eigenschaft der Dinge der Alltagswelt. Dieses Fehlen sei hier als Nicht-Individualität der Elementarteilchen bezeichnet“
(Bauberger, 15).

Kraft ist ein grundlegender Begriff der Physik, der allerdings in der Elementarteilchentheorie eine neue Bedeutung gewinnt. In der klassischen Theorie sah die Beschreibung in etwa folgendermaßen aus: (Unterscheidbare) Objekte üben aufeinander eine Kraft aus, indem sich das Verhalten dieser Objekte (z.B. die Richtung ihrer Flugbahn) verändert. Vorausgesetzt wird dabei die Konstanz der Objekte selbst, d.h. es verändern sich nur die Eigenschaften. In der klassisch philosophischen Terminologie und Ontologie wäre das wohl so zu beschreiben, dass die unterscheidbaren Objekte die Substanzen darstellen, deren jeweilige Akzidenzien sich verändern.

Wenn man bei niedrigen Energien zwei Elektronen aufeinander schießt, können sich diese durch die Abstoßung ihrer elektrischen Ladung niemals berühren, sondern „weichen einander (als punktförmig angenommene Objekte) aus“. Bei hohen Energien jedoch ändert sich dieses Verhalten, oder, eigentlich genauer, trifft die klassische Annahme als grobe Annäherung nicht mehr zu. Dann können diese zwei Elektronen plötzlich kollidieren und mit dieser Kollision völlig neue Teilchen aus den Ursprungsobjekten entstehen, wobei das Entscheidende dabei nicht die Kollision ist, sondern die prinzipielle Umwandelbarkeit von Energie in (Ruhe-) Masse - und umgekehrt (gemäß der Einsteinschen Energie-Masse- Äquivalenz $E = mc^2$). Kraft wird hierdurch zur Wechselwirkung und dieses Prinzip gilt prinzipiell für die gesamte Materie.⁷

Wichtig wird nun die Betrachtung des Gesamtsystems. Kraft ist, wie die beiden Elektronen selbst, eine Eigenschaft dieses Gesamtsystems und nicht etwas, was zu den Teilchen bzw. Objekten hinzukommt bzw. zwischen ihnen wirkt. Entscheidend für den Vergleich mit Hegels Gedanken ist dabei, dass strenggenommen und in einem fundamentalen Sinn nur dem ganzen System die volle Realität zukommt.⁸

⁷ Die relative Stabilität der vorfindbaren Materie erklärt sich daraus, dass sie zum einen aus den leichtesten Teilchen aufgebaut ist und zum anderen in einem System mit niedriger Energie besteht, was den Teilchen dadurch Konstanz gibt, dass ihre Dynamik bei niedrigen Energien quasi „eingefroren“ ist.

⁸ Und nur bei niedrigen Energien die klassische Betrachtung als Annäherung angewendet werden kann.

In der Elementarteilchenphysik stellen unterscheidbare Objekte nur eine Näherung und Abstraktion dar, bei denen die Kräfte bzw. Wechselwirkungen (in der klassisch philosophischen Terminologie wiederum die Relationen) vernachlässigt werden (müssen).

D.h. die klassische Physik lässt sich deshalb problemlos mit einem erkenntnistheoretischen Realismus (einer beobachterunabhängigen Realität) vereinbaren, weil es eine eindeutige Zuordnung von Phänomenen und Objekten gibt. In der Quantenmechanik und Quantenphysik ist eine derart eindeutige Zuordnung nicht mehr möglich. Ob der Holismus der quantenmechanischen Verschränktheit von Systemen, in der alle Objekte unabhängig von ihrer Entfernung immer miteinander verbunden sind, eine Eigenart unserer Beschreibung oder eine reale Eigenart der Welt ist, ist hier die grundlegende ontologische Frage.

2.2 Welle-Teilchen-Dualismus und Meßprozeß

Das Doppelspaltexperiment⁹ war erst einige Zeit nach den ersten theoretischen Konzeptionen zur empirischen Bestätigung der Quantentheorie möglich und wird dann interessant, wenn eine Strahlungsquelle so gesteuert werden kann, dass z.B. einzelne Elektronen nacheinander durch zwei verschiedene Spalten „geschossen“ werden. Sind beide Spalten offen, so verhalten sich die einzelnen Elektronen wellenhaft, d.h. es erscheint ein Interferenzmuster als Wahrscheinlichkeitsverteilung des Auftreffens auf die Detektoren.¹⁰ Dieses Muster erscheint auch dann, wenn die einzelnen Elektronen gar keine Gelegenheit haben, mit anderen Elektronen zu interferieren,¹¹ d.h. das Elektron interferiert mit sich selbst. Verschließt man im gleichen Versuchsaufbau nun eine der beiden Spalten, so verschwindet plötzlich das Interferenzmuster und es tritt die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Bahn von definiten Teilchen auf.

Niels Bohr nannte dieses eigenartige Verhalten Komplementarität. Gemeint ist damit, dass sich beide Aspekte in der klassischen Betrachtung gegenseitig ausschließen, aber in der Quantenmechanik zu einer vollständigen Beschreibung der Eigenschaften benötigt werden. Diese Komplementarität kommt noch einmal in der sogenannten „Heisenbergschen Unschärferelation“ zum Ausdruck. Diese besagt, dass, je genauer der Ort eines Teilchens gemessen wird, desto unschärfer die Kenntnis über den Impuls wird (und umgekehrt). Dabei ist diese Unschärfe nicht nur auf eine unvollständige Messung zurückzuführen, sondern eine intrinsische Eigenschaft physikalischer Objekte. Dies leitet zum nächsten Punkt, zur ausgezeichneten Rolle des Meßprozesses, über.

⁹ Hier folgt natürlich eine stark idealisierte Darstellung. Eine genaue Beschreibung des Versuchs und dessen Aufbau finden sich bei Bauberger (1999). Vgl. zu den einzelnen Mustern die Abbildungen 24 u. 25 (S. 70f).

¹⁰ In diesem Fall des Überlagerungszustandes gilt auch die normale zweiwertige Logik nicht mehr.

¹¹ Dies wird einfach dadurch sichergestellt, dass nur jeweils ein Elektron durch die Spalten geschossen wird und bereits aufgetroffen ist, wenn das nächste Elektron seinen Weg antritt.

Noch einmal zurück zum vorherigen Versuchsaufbau. Nun wird die Frage interessant, wann sich die Elektronen einmal als Teilchen und einmal als Wellen verhalten. Man kann nun hinter einem der beiden Spalten des Apparates einen Detektor anbringen, der misst, ob ein Elektron durch diesen Spalt kommt oder nicht (wenn es nicht durch diesen kommt, muss es logischerweise die andere Spalte passieren), diese jedoch nur registriert und nicht blockiert. Ohne Messung läuft das Elektron weiterhin als Welle durch beide Spalten, mit der Messung jedoch verschwindet das Interferenzmuster. Das Verschwinden des Interferenzmusters ergibt sich immer dann, wenn gemessen werden kann, und zwar bei beiden Spalten, obwohl nur hinter einer die tatsächliche (Nicht-) Passage registriert wird. Hier zeigt sich, dass die Eigenschaften eines Elektrons nicht unabhängig vom Meßvorgang beschrieben werden können, und zugleich, dass es sich bei der Veränderung des Verhaltens durch den Meßvorgang nicht einfach um eine Wechselwirkung mit dem Meßgerät (im klassischen Sinn) handeln kann.

Allgemeiner formuliert: In der Quantenmechanik werden physikalische Zustände durch Zustandsvektoren (die sogenannte Ψ - oder Wellenfunktion) beschrieben. Dieser Zustandsvektor stellt die maximale Beschreibungsmöglichkeit eines physikalischen Systems dar, d.h. eine vollständigere Beschreibung ist physikalisch nicht möglich. Er ermöglicht die Vorhersage von Wahrscheinlichkeiten, wie sich das physikalische System im Laufe der Zeit verändert und ist im Rahmen der Quantenmechanik streng deterministisch. Wann immer nun eine Messung vorgenommen wird, verändert sich dieser Zustandsvektor und das System muss nach der Messung durch einen neuen Zustandsvektor beschrieben werden, „der mit dem ursprünglichen Zustandsvektor nicht stetig zusammenhängt“ (Bauberger 1999, S. 73).

Damit ist auch der Ausgang der Messung nicht streng determiniert, sondern nur im Rahmen einer gewissen Wahrscheinlichkeit gegeben. Mit dem Meßvorgang findet also ein Sprung in einen neuen Zustand statt, man spricht hier vom „Kollaps“ der Wellenfunktion. Der Zustandsvektor gibt also - je nach Messung - gewisse Wahrscheinlichkeiten für ein Meßergebnis wieder und repräsentiert damit auch „ein Wissen über die Realität und zwar ein Wissen, das zur Vorhersage von Wahrscheinlichkeiten dient“ (Bauberger 1999, S. 91). Aber es ist nicht sinnvoll, dem Zustandsvektor eine beobachterunabhängige Realität zuzuschreiben.¹²

Eine entscheidende Rolle in der nichtrealistischen (epistemischen) Interpretation der Quantenmechanik spielt der Wechsel der Beschreibungsebenen. Der Meßprozeß bedeutet einen Schnitt zwischen zwei verschiedenen Beschreibungsebenen, nämlich der Ebene der klassischen Physik und ihrer Beschreibung sowie die der Quantenmechanik. Um empirische Kenntnisse über ein physikalisches System zu gewinnen, müssen Messungen vorgenommen werden. Diese können, genauso wie die dazu notwendigen Meßinstrumente, nur im Rahmen der klassischen Physik und ihrer irreversiblen Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden.

¹² In der Quantenmechanik werden zur Darstellung sogenannte Hilbert-Räume verwendet. Diese sind eindeutig determiniert. Erst bei einer Übersetzung vom abstrakten Zustandsraum in einen konkret-klassischen (mit Ort und Impuls) kommt man auf die Wahrscheinlichkeitsebene, und erst hier ergibt sich auch der Welle-Teilchen Dualismus. *Welle und Teilchen sind eine Beschreibungsform der klassischen Physik, keine Darstellung der Quantenmechanik.*

Das bedeutet: Zur Bedingung der Möglichkeit empirischer Erkenntnis gehört z.B. eine Zeitrichtung. Die Beschreibung eines physikalischen Systems auf quantenmechanischer Ebene dagegen kennt keine Irreversibilität (Zeitrichtung), hier sind die Gesetze streng zeitumkehrinvariant. Physikalisch findet ein kontinuierlicher Übergang zwischen den Ebenen statt, auf begrifflicher Ebene jedoch ist dieser Übergang diskontinuierlich. Dabei handelt es sich nicht einfach um ein reines Sprachproblem, sondern es geht um grundsätzlich verschiedene Denk- und Beschreibungsweisen. Der Schnitt macht eine nicht-realistische Deutung scheinbar unumgänglich, d.h. die Quantenmechanik repräsentiert „nur“ (empirisches) Wissen über die Wirklichkeit.¹³

Bei der ausgezeichneten Rolle des Meßprozesses geht es also um die prinzipielle Möglichkeit von Messungen - und damit im weiteren Sinne um das Subjekt von Wissenschaft. Die ausgezeichnete Rolle dürfte neben dem Holismus das Kernproblem einer philosophischen Interpretation der modernen Quantenmechanik darstellen, da die Messung als spezielles Ereignis in die Physik eingreift, d.h. die (beobachtbaren) Eigenschaften der betrachteten Entitäten plötzlich von der Messung selbst abhängen. So stößt die Physik bei der Suche nach letzten, abstrakten und objektiven Naturgesetzen an die prinzipiellen Grenzen objektiver (empirischer) Erkenntnis - und damit, wie Hegel, an die Grenzen des Denkens überhaupt.

2.3 Die Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik

„Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie beginnt mit einem Paradoxon. Jedes physikalische Experiment, gleichgültig, ob es sich auf Erscheinungen des täglichen Lebens oder auf Atomphysik bezieht, muß in den Begriffen der klassischen Physik beschrieben werden. Diese Begriffe der klassischen Physik bilden die Sprache, in der wir die Anordnung unserer Versuche angeben und die Ergebnisse festlegen. Wir können sie nicht durch andere ersetzen. Trotzdem ist die Anwendbarkeit dieser Begriffe begrenzt durch die Unbestimmtheitsrelation. Wir müssen uns dieser begrenzten Anwendbarkeit der klassischen Begriffe bewußt bleiben, während wir sie anwenden, aber wir können und sollten nicht versuchen, sie zu verbessern“
(Heisenberg 2000, S. 42).

Noch einmal zu den Problemen, die mittels der Kopenhagener Deutung zu erklären versucht werden.

¹³ Einer der bekanntesten Vertreter der Kopenhagener Schule, Carl Friedrich von Weizsäcker, baut auf dieser Deutung auf und führt den Informationsbegriff ein, dem er eine wichtige Funktion in der Erkenntnis quantenphysikalischer Vorgänge und dem Sprung bei der Beobachtung zuspricht.

Mikrophysikalische Experimente müssen stets mit Begriffen der klassischen Physik beschrieben werden. Der Begriff *Quantenphänomen* drückt hier die Ganzheit von Objekt und experimenteller Anordnung aus. Der Meßapparat genügt zwar auch der Quantentheorie, ist aber nur klassisch beschrieben zur Messung geeignet. Dies macht einen („verschieblichen“) Schnitt unumgänglich, denn das Objekt selbst wird quantentheoretisch beschrieben. Dabei liefert die Quantentheorie nur Wahrscheinlichkeiten des Eintretens von Ereignissen, *keine raumzeitliche Beschreibung dessen, was zwischen zwei Beobachtungen geschieht*. Jeder Versuch einer solchen Beschreibung führt zu Widersprüchen. Daher ist der Begriff des „Geschehens“ auf die reine Beobachtung zu beschränken.¹⁴

Das (Deutungs-) Problem tritt also dann auf, wenn man die Frage beantworten will: Was geschieht denn „wirklich“ bei dem Vorgang, den die Wahrscheinlichkeitsfunktion beschreibt?¹⁵ Klassisch würde nun argumentiert, dass das Elektron zwischen den Beobachtungen irgendwo gewesen sein müsse, eine Art Bahn oder Weg beschrieben habe, selbst wenn dies nicht festgestellt werden könne. *In der Quantentheorie macht es aber keinen Sinn, nach einer Bahn des Elektrons (z.B. im Atom) zu fragen.*¹⁶

Bei einem (klassischen) wissenschaftlichen Experiment gilt die Aufmerksamkeit nur einem bestimmten Teil des Ganzen. Ein großer Teil der Umgebung, einschließlich des Beobachters, wird nicht in das Experiment eingeschlossen. Für Heisenberg beruht damit die klassische Physik auf der Illusion, dass die Welt, oder Teile davon, ohne den Beobachter bzw. die Experimentieranordnung beschrieben werden kann. In weitem Umfang ist dies sicherlich möglich - es bleibt aber eine Idealisierung (und Kategorisierung) der Welt, die nur näherungsweise möglich ist.

¹⁴ Das Ergebnis eines quantenmechanischen Experiments kann also deshalb nicht vollständig objektiviert werden, weil man nicht sagen kann, was zwischen den Beobachtungen geschieht.

„Für den ersten Schritt [Bestimmung der Objekteigenschaften] ist die Gültigkeit der Unbestimmtheitsrelationen eine notwendige Vorbedingung. Der zweite Schritt [Übersetzung in die Wahrscheinlichkeitsfunktion] kann nicht in den Begriffen der klassischen Physik beschrieben werden. Es ist unmöglich, anzugeben, was mit dem System zwischen der Anfangsbeobachtung und der nächsten Messung geschieht. Nur im dritten Schritt [erneute Messung] kann wieder der Wechsel vom Möglichen zum Faktischen vollzogen werden“ (Heisenberg 2000, S. 45).

¹⁵ „Die Wahrscheinlichkeitsfunktion genügt einer Bewegungsgleichung, ähnlich wie die für die Koordinaten in der Newtonschen Mechanik. *Ihre Änderung im Laufe der Zeit ist durch die quantenmechanischen Gleichungen vollständig bestimmt, aber sie liefert keine raum-zeitliche Beschreibung des Systems.* Durch die Beobachtung andererseits wird eine raum-zeitliche Beschreibung erzwungen. Aber sie unterbricht den durch die Rechnung bestimmten Ablauf der Wahrscheinlichkeitsfunktion, indem sie unsere Kenntnis des Systems ändert“ (Heisenberg 2000, S. 49, Hervorhebung durch A.R.).

¹⁶ Am deutlichsten wird die epistemische Interpretation von Heisenberg in Heisenberg 1971c, S. 115f und 121f: „Auch in der Naturwissenschaft ist also der Gegenstand Forschung nicht mehr die Natur an sich, sondern die der menschlichen Fragestellung ausgesetzte Natur, und insofern begegnet der Mensch auch hier wieder sich selbst [...] Die mathematischen Formeln bilden dabei allerdings nicht mehr die Natur, sondern unsere Kenntnis von der Natur ab, und insofern hat man auf eine seit Jahrhunderten übliche Art der Naturbeschreibung verzichtet, die noch vor wenigen Jahrzehnten als das selbstverständliche Ziel aller exakten Naturwissenschaft gegolten hatte“ (S. 122). Vgl. dazu auch Heisenberg 1963, S. 16, 22 und 34.

Der Gebrauch der klassischen Begriffe ist für Heisenberg die Folge der allgemeinen geistigen Entwicklung der Menschheit, deshalb ist dabei immer ein Selbstbezug gegeben. Die Beschreibung kann eigentlich nicht vollständig objektiv (im Sinne von menschenunabhängig) sein. Die Begriffe der klassischen Physik sind für Heisenberg ein wesentlicher Teil der (Alltags-) Sprache, und damit des Denkens, die nun einmal die Voraussetzung für die Naturwissenschaft bildet. Sie müssen benutzt werden, da sonst eine Verständigung unmöglich wird, d.h. die Quantentheorie muss ihre Experimente auf dieser Grundlage deuten. Dem Paradoxon der Quantenmechanik kann der Mensch durch diese Notwendigkeit nicht entgehen.¹⁷

Nicht nur kann er dem Paradoxon nicht entgehen, sondern es stellt sich heraus, dass in der mikrophysikalischen Realität die Kategorien und Schemata des Alltagsverständes nicht mehr gelten.¹⁸ Erneut stellt sich hier die Frage, welche ontologische Stellung diese mikrophysikalische Realität für die "Wirklichkeit" hat.

„Kant konnte nicht voraussehen, daß in Erfahrungsbereichen, die weit jenseits der täglichen Erfahrung liegen, eine Ordnung des Wahrgenommenen nach dem Modell des 'Dings an sich' oder, wenn Sie wollen, des 'Gegenstandes' nicht mehr durchgeführt werden kann, daß also, um es auf eine einfache Formel zu bringen, Atome keine Dinge oder Gegenstände mehr sind" (Weizsäcker zitiert nach Heisenberg 2000, S. 72).¹⁹

Und genau hier ist der Platz, an Hegel anzuknüpfen, der das menschliche Denken unterscheidet in das Denken mittels des Verstandes, das zu empirischen Erkenntnissen kommen kann und das deshalb in den Naturwissenschaften angewandt wird, und das Denken mittels der Vernunft. Für das Verstandesdenken gelten die von Heisenberg in der Kopenhagener Deutung aufgeführten Konsequenzen - nicht aber für das Denken der Vernunft.

"Der Verstand bestimmt und hält die Bestimmungen fest; die Vernunft ist negativ und dialektisch, weil sie die Bestimmungen des Verstandes in nichts auflöst; sie ist positiv, weil sie das Allgemeine erzeugt und das Besondere darin begreift [...] Aber in ihrer Wahrheit ist die Vernunft Geist, der höher als beides, verständige Vernunft oder vernünftiger Verstand ist" (WdL I, S. 16f).

¹⁷ „Damit wird wieder ein subjektives Element in der Beschreibung der atomaren Vorgänge hervorgehoben, denn die Meßanordnung ist ja vom Beobachter konstruiert worden; und wir müssen uns daran erinnern, daß das, was wir beobachten, nicht die Natur selbst ist, sondern Natur, die unserer Art der Fragestellung ausgesetzt ist" (Heisenberg 2000, S. 60).

¹⁸ "Denn die kleinsten Einheiten der Materie sind tatsächlich nicht physikalische Objekte im gewöhnlichen Sinn des Wortes; sie sind Formen, Strukturen oder - im Sinne Platos - Ideen, über die man unzweideutig nur in der Sprache der Mathematik sprechen kann" (Heisenberg 1971b, S. 236).

¹⁹ Dementsprechend besteht die wichtigste Lehre für Weizsäcker darin, „daß alle Begriffe, mit denen wir Erfahrungen beschreiben, nur einen begrenzten Anwendungsbereich haben. Bei allen solchen Begriffen wie 'Ding', 'Objekt der Wahrnehmung', 'Zeitpunkt', 'Gleichzeitigkeit', 'Ausdehnung' usw. können wir experimentelle Situationen aufweisen, in denen wir mit diesen Begriffen in Schwierigkeiten geraten" (Weizsäcker zitiert nach Heisenberg 2000, S. 73f). Vgl. dazu auch Pkt. 3.3, Hegels Dialektik.

3. Hegels „bedingter Realismus“ im Vergleich zur epistemischen Interpretation

3.1 Der Stellenwert von Hegels Logik und Dialektik in seinem Werk

In seiner Logik versucht Hegel, die Grundlagen des Denkens zu ergründen. Der Ansatz von Kant war ihm zu wenig weitreichend, insbesondere die Aussage Kants, dass der Mensch das “Ding an sich” nicht erkennen könne. Das Denken ist für Hegel nicht nur das Werkzeug zum Betrachten von Gegenständen und damit der Gewinnung von Erkenntnis, sondern zugleich - in einem reflexiven Akt auf das erkennende Tun des Subjektes - das Werkzeug, mit dem man das Werkzeug erkennen und analysieren kann.²⁰ Bemerkenswert dabei ist Hegels Auffassung, dass der Empirismus (und die Naturwissenschaften allgemein) von Annahmen und Begriffen durchsetzt ist, die selbst nicht empirisch sind, sondern sich vom Denken her ergeben.

Kant bemerkte zwar auch zu Recht, dass das erkennende “transzendente Subjekt” ebenfalls nicht Gegenstand eines *empirischen* Erkenntnisaktes sein kann. Doch Hegel wollte zeigen, dass dieses Subjekt in der *intellektuellen Anschauung* der Vernunft dennoch zu erfassen ist, wenn auch nicht mit den klaren Begrifflichkeiten der Empirie zu beschreiben. Deshalb will er Wissen und Erkenntnis vom Denken her begründen. Hegels Logik ist als Ontologie zugleich die Betrachtung des (logischen) Gerippes der Welt. Die Vernunft ist dabei das Formprinzip der Welt und das “Denken des Denkens” der absolute Geist (Gott). Die Seinsweise des Logischen ist, da letzte Grundlage von Erkenntnis, der Seinsweise des Realen (der Natur und der Dinge) überlegen.

Kategorien und logische Gegenstände als “Denkform” des Menschen sind für Hegel sprachlicher Natur und was der Mensch “zur Sprache macht und in ihr äußert, enthält eingehüllter, vermischter oder herausgearbeitet eine Kategorie” (WdL I, 20). Stellt man diesem geistigen Akt die Natur oder das Physikalische einfach gegenüber, dann wäre das Logische das “Übernatürliche”. Naturbetrachtung bringt durch ihre Realität das “Zwingende”, die Kategorien mit sich. Sosehr aber diese logischen Gegenstände Ausdruck von Altbekanntem sind, so wenig ist doch “was *bekannt* ist, darum [...] *erkannt*” (WdL I, 22).

Die Natur des gewöhnlichen und “erscheinenden” Bewußtseins wird nämlich nach Hegel normalerweise so aufgefasst, dass

1. vorausgesetzt wird, “daß der Stoff des Erkennens als eine fertige Welt außerhalb des Denkens an und für sich vorhanden, daß das Denken für sich leer sei, als eine Form äußerlich zu jener Materie hinzutrete, sich damit erfülle, erst daran einen Inhalt gewinne und dadurch reales Erkennen werde” (WdL I, 36f),

²⁰ So kann man für Hegel einen Gegenstand “an sich” betrachten. Weiter kann man aber über den Gegenstand nachdenken, ihn “für sich” betrachten, und schließlich kann man über die Erkenntnis des Gegenstandes nachdenken, also den Gegenstand “an und für sich” betrachten.

2. dabei angenommen wird, “daß das Objekt ein für sich Vollendetes, Fertiges sei, das des Denkens zu seiner Wirklichkeit vollkommen entbehren könne” (WdL I, 37) und
3. das Denken dadurch nicht über sich hinaus (zum Gegenstand) kommt: “dieser bleibt als ein Ding an sich schlechthin ein Jenseits des Denkens” (WdL I, 37).

Doch die Annahme, dass diese Art zu denken “an und für sich Wahrheit habe”, ist für Hegel nicht mehr als ein Vorurteil, insbesondere wenn es auf die Vernunft übertragen wird, denn eigentlich kommt es nur dem Denken des “abstrahierenden” und “trennenden” Verstandes zu. Die *Vernunft* muss nach Hegel über die trennenden Bestimmungen des Verstandes hinausgehen - und dies ist für ihn der Schritt zum “wahrhaften” Begriff. Die Widersprüche des Verstandesdenkens und seiner Kategorien kann nur die *dialektische Logik* (3.3) aufheben. Dabei muss sie zugleich die Grundlage ihrer selbst, das *Unmittelbare*, “das Substantielle oder Reelle, das alle abstrakten Bestimmungen in sich zusammenhält und ihre gediegene, absolut konkrete Einheit ist” (WdL I, 41f), aufzeigen. Damit will Hegel zeigen, dass einer losgelösten einzelnen Endlichkeit (Kategorie, Begriff oder Definition) selbst keine (echte) Realität zukommt. Und umgekehrt gibt es nichts “was nicht ebenso die Unmittelbarkeit enthält als die Vermittlung, so daß sich diese beiden Bestimmungen als *ungetrennt* und *untrennbar* und jener Gegensatz sich als ein Nichtiges zeigt” (WdL I, 66).

3.2 Die Seinsparagrafen der Logik

“Das System der Logik ist das Reich der Schatten, die Welt der einfachen Wesenheiten, von aller sinnlichen Konkretion befreit” (WdL I, 55).

Jede Realität, also im weitesten Sinne Wissen, enthält für den Menschen bereits Reflexion. Hegel dagegen will einen voraussetzungslosen Anfang des Denkens suchen. Dieser kann nichts weiter Vermitteltes oder Bestimmtes enthalten. Ein absoluter Anfang muss also losgelöst von Inhalten sein. Das *reine Wissen* am Anfang des Denkens hat alle Beziehungen auf Anderes hin und jede Vermittlung (die Begrenzung der Kategorien und Definitionen) aufgehoben es ist das “Unterschiedslose”. Dieses Unterschiedslose ist kein Wissen mehr, es ist *einfache Unmittelbarkeit*, das *reine Sein*. Der Anfang des Denkens muss absolut sein, ein “abstrakter Anfang” der nichts mehr voraussetzen darf, aber doch einen *Grund* haben muss.

“Wie er nicht gegen Anderes eine Bestimmung haben kann, so kann er auch keine in sich, keinen Inhalt enthalten, denn dergleichen wäre Unterscheidung und Beziehung von Verschiedenem aufeinander, somit eine Vermittlung. Der Anfang ist also das reine Sein” (WdL I, 69).

Am Anfang des Denkens (dies meint Hegel auch historisch) ist keine Erkenntnis möglich,²¹ diese bedarf vielmehr erst der Bestimmung, des *Einteilens*, der *Definition* und *Vermittlung*. Das wissenschaftliche *Vorwärtsgehen* zu diesem Anfang des Denkens ist in Wahrheit also ein *Rückgang* auf den Grund, zum *Ursprünglichen* und *Wahrhaften*.²² Dabei ist die Philosophie für Hegel dort am Anfang, “wo die Sache selbst noch nicht vorhanden ist” (WdL I, 72). Die gewußten endlichen Dinge können für Hegel in ihrem “An sich sein” als *Erscheinung* erfasst werden, die den Grund ihres Seins nicht in sich selbst, “sondern in der allgemeinen göttlichen Idee”, d.h. der absoluten Idee haben.²³ In der Lehre vom Sein (Enz §§ 86 - 88, WdL I, Erstes Kapitel) geht es um diese Grundlagen menschlichen Denkens.

Enz § 86, WdL I *Sein*

„Das reine Sein macht den Anfang, weil es sowohl reiner Gedanke als das unbestimmte, einfache Unmittelbare ist, der erste Anfang aber nichts Vermitteltes und weiter Bestimmtes sein kann” (Enz § 86).

Das *reine Sein* ist für Hegel die reine Unbestimmtheit und Leere, das reine und leere Anschauen selbst. In ihm ist nichts zu denken bzw. es ist leeres Denken. Der absolute Anfang des Denkens ist unmittelbar Bestimmungsloses,

„die Bestimmungslosigkeit vor aller Bestimmtheit, das Bestimmungslose als Allererstes. [...] Dieses [Sein] ist nicht zu empfinden, nicht anzuschauen und nicht vorzustellen, sondern es ist der reine Gedanke, und als solcher macht es den Anfang” (Enz § 86, Zusatz 1).

²¹ “Was den Anfang macht, der Anfang selbst, ist daher als ein Nichtanalysierbares, in seiner einfachen unerfüllten Unmittelbarkeit, also *als Sein*, als das ganz Leere zu nehmen [...] dies Einfache, das sonst keine weitere Bedeutung hat, dies Leere ist also schlechthin der Anfang der Philosophie” (WdL I, 75 & 79).

²² Hier weist Hegel einen interessanten Zirkel auf. Das absolut Erste beim Beginn des Denkens endet in (bzw. beginnt mit) einem Kreislauf und kann überhaupt erst in einem Vorwärtsschreiten des Denkens und der Wissenschaft (auch im Laufe der Geschichte der Menschheit) erkannt werden. Dabei liegt der Anfang allem Folgenden immer noch zu Grunde, darum kann er überhaupt erst entdeckt werden. “Zugleich ergibt sich, daß das, was den Anfang macht, indem es darin das noch Unentwickelte, Inhaltslose ist, im Anfang noch nicht wahrhaft erkannt wird und daß erst die Wissenschaft, und zwar in ihrer ganzen Entwicklung, seine vollendete, inhaltvolle und erst wahrhaft begründete Erkenntnis ist” (WdL I, 71). In einer Analogie könnte man sicher sagen, dass erst das späte Wissen der Quantenphysik als Wissenschaft die Menschen dazu gebracht hat, diese Anfänge und ontologischen Bedingungen (wieder) zu thematisieren - und neu deuten zu müssen.

²³ “Es ist die *Definition der endlichen Dinge*, daß in ihnen Begriff und Sein verschieden, Begriff und Realität, Seele und Leib trennbar, sie damit vergänglich und sterblich sind; Die wahrhafte Kritik der Kategorien und der Vernunft ist gerade diese, das Erkennen über diesen Unterschied zu verständigen und dasselbe abzuhalten, die Bestimmungen und Verhältnisse des Endlichen auf Gott anzuwenden” (WdL, 92).

Enz § 87, WdL I Nichts

Der Verzicht auf jede Differenzierung macht die Bestimmung des Seins völlig inhaltsleer. Keinerlei Erkenntnis ermöglichend, form- und inhaltslos, ist dieser Anfang deshalb ein „Un-sagbares“, es ist „Nichts“ (als Denkkategorie). Das Denken sucht Unterscheidungen von Sein und Nichts in festen Bestimmungen und Definitionen. Das ist jedoch nicht mehr reines Sein, sondern eine (Denk-) Notwendigkeit, welche Sein und Nichts weiterführt und ihnen eine konkrete Gestalt verleiht.

„Nun aber ist das Sein eben nur das schlechthin Bestimmungslose, und dieselbe Bestimmungslosigkeit ist auch das Nichts. Der Unterschied dieser beiden ist somit nur ein gemeinter, der ganz abstrakte Unterschied, der zugleich kein Unterschied ist. Bei allem sonstigen Unterscheiden haben wir immer auch ein Gemeinsames, welches die Unterschiedenen unter sich befaßt“ (Enz § 87, Zusatz).

Dabei darf man jedoch nicht den Fehler machen, etwas Konkretes oder Bestimmtes (z.B. *das Nichts*) darunter zu verstehen, denn dies ist bereits etwas anderes als nur Seiendes, d.h. man kann das Sein nicht im eigentlichen Sinne „begreifen“ oder „wissen“. Nichts ist für Hegel somit dieselbe Bestimmung bzw. Bestimmungslosigkeit - und damit dasselbe - wie das reine Sein.

Hegel knüpft das Begreifen (Wissen) an einen Vollzug, an eine Tätigkeit des Denkens. Für den Denkvollzug benötigt der Mensch Kategorien und Definitionen, d.h. Begrenzung und Abstraktion. Eine Entität kann nur erfasst werden, wenn sie von Anderem unterschieden werden kann. Doch gerade die Unterscheidung im Begriff selbst weist auf seine Begrenztheit hin. Das *reine Sein*, also der Anfang, zeigt sich für Hegel dagegen als ein „Insgesamt“ kategorialer Bestimmungen, als das Ganze und damit absolute Realität. *Das einzelne Objekt bzw. sein Begriff kann für Hegel nur von diesem Ganzen her begriffen werden.*

Und genau hier zeigt sich eine erste Analogie und der Übergang zu quantenmechanischen Überlegungen, die Bauberger die „Nicht-Individualität von Elementarteilchen“ nennt (Seiten 14 - 24 im Vorlesungsskript, darin: Abb. 4 - 7 sowie die graphischen Erläuterungen S. 17 - 19). In einer völlig holistischen Welt, in der Kräfte und Wechselwirkungen zusammen betrachtet werden müssen, in der es keine „Individualität“ gibt, weil alles ineinander umwandelbar ist, kann man „Nichts“ mehr messen und erkennen. Darum müssen Teilchen, Anfangs- und Endzustände unterschieden werden. Das Ganze „ist“ zwar denkbar, wird aber „unsagbar“, d.h. es fehlt die kategoriale und begriffliche Schärfe, die für *empirische* wissenschaftliche Erkenntnis notwendig ist.

3.3 Dialektische Erkenntnis bei Hegel

Bei Hegel hat sich ein widersprechendes System, bzw. Hegel geht davon aus, dass sich alles Seiende widerspricht. Alle logischen Kategorien, alle realen Gegenstände und selbst die geistige Welt widersprechen sich ständig. Widersprüchlichkeit ist sozusagen ein Charakteristikum der Endlichkeit. Seine Logik begegnet dieser Eigenart in Form der *Dialektik*. Das Widersprüchliche der meisten logischen Kategorien besteht für Hegel darin, dass sie *einseitig* sind, dass es sich immer nur um einzelne Aspekte einer Sache handelt, die sich bei Betrachtung auf einer höheren Ebene „aufheben“.²⁴

“Das Einzige, um den wissenschaftlichen Fortgang zu gewinnen - und um dessen ganz einfache Einsicht sich wesentlich zu bemühen ist -, ist die Erkenntnis des logischen Satzes, daß das Negative ebenso sehr positiv ist oder daß das sich Widersprechende sich nicht in Null, in das abstrakte Nichts auflöst, sondern wesentlich nur in die Negation seines besonderen Inhalts, oder daß eine solche Negation der bestimmten Sache, die sich auflöst, somit bestimmte Negation ist; daß also im Resultate wesentlich das enthalten ist, woraus es resultiert [...] Indem das Resultierende, die Negation, bestimmte Negation ist, hat sie einen Inhalt. Sie ist ein neuer Begriff, aber der höhere, reichere Begriff als der vorhergehende; denn sie ist um dessen Negation oder Entgegengesetztes reicher geworden, enthält ihn also, aber auch mehr als ihn, und ist die Einheit seiner und seines Entgegengesetzten” (WdL, 49).

Mit Hegel lässt sich weiter sagen: Alles Endliche (als Realität der Alltagswelt) ist widersprüchlich. Und diese Widersprüchlichkeit ist nicht nur eine akzidentelle Bestimmung des Endlichen, sondern sein Wesen, Explikation seiner Endlichkeit. Hegels Dialektik widerspricht dabei nicht der Aristotelischen Fassung des Satzes vom Widerspruch, nachdem nicht derselben Sache eine Eigenschaft und ihr Gegenteil *nach derselben Hinsicht* zukommen könne.

Denken ist bei Hegel eben nicht bloßes Erkennen, nicht reine Verstandesbestimmung, obwohl dies zunächst die Aufgabe ist, da Unterscheidungen, Abgrenzungen und Definitionen eine „Festigkeit und Bestimmtheit“ im Denken bedeuten. (Verstandes-) Denken setzt durch die Trennung von der unmittelbaren Anschauung dem Besonderen ein abstrakt Allgemeines gegenüber und aufgrund der Grenze begrifflicher Bestimmungen treten innere Widersprüche auf. Die Reflexionsfähigkeit des Menschen ermöglicht aber ein Hinausgehen über diese isolierten Bestimmungen.

²⁴ Wenn Hegel in seiner Dialektik von der Aufhebung des Widerspruchs spricht, so bestreitet er damit keinesfalls die Existenz oder Realität dieser Widersprüche. Auch die Aufhebung selbst, also die Betrachtung auf einer höheren (Verstandes-) Ebene bleibt widersprüchlich, weil er wieder zu neuen Kategorien führt. Dennoch kann das Denken damit umgehen und diese Widersprüchlichkeit in eine höhere Ordnung stellen.

Damit weist Hegel auf einen zentralen Aspekt des Denkens hin: Begriffe und Definitionen haben durch ihre Abgrenzung gegenüber Anderem immer auch etwas Willkürliches. Diese Grenze ist zwar notwendig, um überhaupt zu Erkenntnis zu gelangen, *weist aber intrinsisch bereits über sich hinaus*. Beim Denken, und damit gleichbedeutend beim Forschen, erweisen sich die Grenzen der Kategorien als Hindernis, das zugleich überwunden sein muss, damit es als Begrenzung überhaupt erkennbar wird. Die Grenze zwischen den Dingen zeigt immanent, wenn man denkend (forschend) darüber hinausgeht, dass Entitäten *sowohl* die Unterscheidung von, *als auch* die Beziehung auf Anderes hin konstitutiv zu eigen ist.²⁵ Damit liegt in den Begriffen nicht das Letzte und Beständige, sondern es kommt zu einem Umschlag in das Entgegengesetzte, zur Negation. In der hegelschen Dialektik ist dies ein beständig fortschreitender *und vor allem realer Prozess*.

Der Schnitt zwischen quantenphysikalischer Beschreibungsebene und den klassischen Annahmen findet in Hegels Terminologie auf der Ebene des Verstandes, seiner Kategorien und Begriffe statt. Beide Ebenen (klassische und quantenphysikalische Beschreibung) sind für Erkenntnis und Wissen notwendig. Es würde für Hegel jedoch keinen „Schnitt“ geben, sondern einen dialektischen Umschlag von konkreter zu abstrakter Realität, die allerdings selbst noch einmal im Denken eine Einheit bilden muss.

Hegel dreht damit in meinen Augen die Argumentation gleichsam um: Die festen Begriffe (die klassische Beschreibung) sind, obzwar für “sicheres” und “fortschreitendes Denken” unbedingt notwendig, nur bedingt real. Real ist nur das ganze „Sein”, das in diesen Begriffen quasi zum Vorschein kommt und ihnen dadurch die Realität verleiht, die zur empirischen Erkenntnis unabdingbar ist. Eine solche Position würde ich nicht als epistemisch oder anti-realistisch, sondern als *bedingten Realismus* bezeichnen.

²⁵ Dies kann man auch an alltäglichen Beispielen deutlich machen. Im Farbspektrum ist z.B. die Benennung der Farbe Rot (als Qualia in der philosophischen Terminologie) nur durch ein Herauslösen aus dem gesamten (Farb)Spektrum möglich. Die Grenzen (zu den anderen Farben) bleiben aber fließend und bedürfen einer willkürlichen Setzung. Auch das Ausweichen auf die physikalische Grundlage der Wellenlänge des Lichtes belegt dies, da die Festlegung der Wellenlänge die gleiche Willkür aufweist (obwohl das Spektrum nicht vollkommen kontinuierlich ist).

4. Zusammenfassung und Interpretation

“Jede Naturphilosophie, die beansprucht, inhaltlich mehr zu sein als eine Zusammenfassung positiven Wissens, muß einen logisch von der Wissenschaft unabhängigen Gesichtspunkt haben, von dem aus diese Wissenschaft beurteilt wird” (Mutschler 1990b, 191).

Hegel entwickelt, im Vergleich etwa zu Schelling, keine sehr überzeugende Naturphilosophie. Aber er versucht einen von der Wissenschaft unabhängigen Gesichtspunkt aufzuzeigen. Er überschreitet dabei die phänomenale Natur, indem er den *Grund* ihrer Erkenntnis (-fähigkeit), das *Absolute*, in jedem Denkvorgang nachweisen will. Nur durch diese Fundierung im “Absoluten” ist es Hegel möglich, über das System des Denkens und die Grundlage von Erkenntnis Aussagen zu machen. Die “Bedingungen der Möglichkeit” empirischer Erkenntnis liegen für ihn in diesem *vermittelnden* Absoluten begründet, das zugleich die Aufhebung der Subjekt-Objekt Spaltung bedeutet. Damit geht er tatsächlich weit über den Standpunkt von Kant hinaus.

4.1 Drei mögliche philosophische Argumentationstypen der ontologischen Zuordnung von Subjekt (Geist, Idee) und Objekt (Materie, Realität):

Grundsätzlich gibt es drei Argumentationsmuster, wie das Subjekt-Objekt Problem, das sich in der Quantenmechanik neu stellt, aufgelöst werden kann. Sie ähneln den Argumentationstypen bei der (Auf-) Lösung des Leib-Seele Problems.

1. *Es existiert nur eine der beiden Seiten*, die andere ist jeweils nichtexistent (Monismus). Für den subjektiven Idealismus (Fichte) bedeutet das z.B., dass alleine der erkennende Geist existiert, nicht die Materie (*esse est percipii*, Berkley). Für den Physikalismus erweist sich der Geist als ein Epiphänomen zu den tatsächlich vorherrschenden physikalischen Bedingungen. Das Problem hierbei ist das offenkundige Vorhandensein der jeweils anderen Seite.
2. *Es gibt eine Gleichrangigkeit bzw. Parallelität beider Prinzipien* (Dualismus), beide Erscheinungsweisen sind nicht aufeinander rückführbar.²⁶ Dies scheint grundsätzlich auch Kants Standpunkt zu sein, da das “Ding-an-sich” unerkennbar bleibt. Auch die epistemische Interpretation oder Wissenschaftsauffassung würde hierin zu verorten sein. Es stellt sich das Problem, wie die klassische Definition von Wahrheit (Übereinstimmung von Aussage und Sachverhalt), also der Impetus die Natur an sich, unabhängig vom Beobachter erforschen zu wollen, dann noch aufrechterhalten werden kann.

²⁶ Die Probleme hierbei sind die gleichen wie beim Leib-Seele Dualismus, also z.B. die Brückenprinzipien, die eine Interaktion (wie z.B. bei der Erkenntnis) zwischen beiden Prinzipien ermöglichen könnten.

Meist führt die konkrete Auflösung doch wieder zu einem Monismus, da einem der beiden Prinzipien der ontologische Primat zugesprochen wird (Physikalismus, Idealismus).

3. *Es kommt zu einer echten Aufhebung der Subjekt-Objekt-Differenz*, und damit einer Einheit von Erkenntnis (Idee und Begriff) und erkanntem Objekt (Natur und Realität), in einem vermittelnden Absoluten. Dies ist die Position des objektiven Idealismus (Hegel, Schelling, Platon). Für Platon ist es die Teilhabe der Dinge an den Ideen, für Hegel ist die Idee selbst die "Identität des Begriffs mit seiner Realität, vermittelt durch den absoluten Geist".²⁷

Gegenüber der epistemischen Interpretation bleibt die Erkenntnis über die Wirklichkeit und Natur im Hegelschen Sinn (der Position 3) dem menschlichen Denken weiterhin zugänglich - allerdings in einer anderen Art als der empirisch-naturwissenschaftlichen Erkenntnisweise.

4.2 Der Vorteil des bedingten Realismus von Hegel bei der Interpretation

Der Mensch bzw. Wissenschaftler kommt bei einer Beschreibung von Experimenten nicht darum herum, mit einzelnen Objekten zu operieren, um überhaupt Messungen vornehmen zu können. Keines der Elemente - Objekt und Gesamtsystem - kann zur Erkenntnis aus der Physik eliminiert werden. Zur Beschreibung und zum Wissenserwerb werden beide Ebenen benötigt, ontologisch aber hat in der (Mikro-) Physik die holistische Auffassung den Vorrang - wie bei Hegel das (ganze) Sein den Vorrang genießt.

Sobald man für Hegel mehr denkt, als das "reine Sein", hat man bereits gedacht - und damit kategorisiert. Die "Bestimmung" eines einzelnen Dinges ist zugleich immer eine Verneinung und Grenzziehung. Jede Grenze ist zwar zunächst eine Grenze (so auch in der Erkenntnis). Um jedoch als Grenze erkannt zu werden, muss man bereits darüber hinaus sein. Somit verweist für Hegel jede Grenze bereits auf das Jenseitige, wenngleich nicht in der gleichen begrifflichen Präzision wie das Verstandesdenken. Zudem bleibt bei jeder Bestimmung die Beziehung zum Rest und (Ab-) Getrennten bestehen.

"Ein bestimmtes, ein endliches Sein ist ein solches, das sich auf anderes bezieht; es ist ein Inhalt, der im Verhältnis der Notwendigkeit mit anderem Inhalte, mit der ganzen Welt steht"
(WdL I, 87).

²⁷ In diese Position würde ich auch all diejenigen philosophischen Autoren einordnen, die sich dem Problem nicht von erkenntnistheoretischer oder physikalischer, sondern von der biologischen Seite her nähern und dabei eine bifaciale (2-Aspekte-Theorie von Nagel?) Wirklichkeit annehmen wie z.B. Teilhard de Chardin oder Hans Jonas.

Die vorgängige Einheit (das vermittelnde *Sein* als Drittes) kann bei Hegel aber nun seinerseits nicht wieder durch den Verstand und seine Begriffe erfasst werden, sonst wäre sie wieder gegenüber der Vielheit bzw. dem Endlichen fixiert, also selbst nur Teil oder Endliches (und sei es nur im Denken). Diese Einheit kann andererseits aber auch nicht völlig unerkennbar sein, da es in den Begriffen ja zum Vorschein kommt. D.h. das Denken dieser Einheit bzw. Endlichkeit muss zwar auf endliche Weise geschehen, aber es geschieht.

Hegel nennt diese Art von Denken „spekulative Logik“. Das spekulative Moment geht zwar über den reinen Verstand hinaus, ist aber nach wie vor ein dem Denken zugänglicher und begreiflicher Vorgang²⁸ - *und darum der menschlichen Vernunft erschließbar*. Das Denken kann über seine Grenzen hinausdenken, ist dann aber nicht „dort“ in der Klarheit streng begrifflichen Denkens. Zugänglich ist die Einheit eben nur dem spekulativen Denken, das jedoch, im Gegensatz zum alltäglichen Sprachgebrauch, für Hegel das einzig reale Denken ist.

„Dagegen ist dann zu sagen, daß das Spekulative seiner wahren Bedeutung nach weder vorläufig noch auch definitiv ein bloß Subjektives ist, sondern vielmehr ausdrücklich dasjenige, welches jene Gegenstände, bei denen der Verstand stehenbleibt (somit auch den des Subjektiven und des Objektiven), als aufgehoben in sich enthält und eben damit sich als konkret und als Totalität erweist. Ein spekulativer Inhalt kann deshalb auch nicht in einem einseitigen Satz ausgesprochen werden“ (Enz § 82, Zusatz).

4.3 Hegel und Heisenberg

Heisenberg greift bei der Interpretation der Quantenmechanik die zu seiner Zeit sehr starke philosophische Richtung des Positivismus auf. In entscheidenden Punkten geht sie ihm aber nicht weit genug, da die Theorie ihm nicht erlauben würde über die Dinge zu sprechen, die mit der Quantenmechanik zwar verbunden sind, aber nicht so eindeutig wie im mathematischen Formalismus zu beschreiben.²⁹ Heisenberg war philosophisch durchaus bewandert³⁰ und mit der europäischen Philosophiegeschichte vertraut.

²⁸ Hegel erwähnt hier hinsichtlich des Sprachgebrauchs, dass die Bedeutung seines spekulativen Elements dem der Mystik gleichkommt.

²⁹ „Für den Positivisten gibt es dann eine einfache Lösung: Die Welt ist einzuteilen in das, was man klar sagen kann, und das, worüber man schweigen muß. Also müßte man hier eben schweigen. Aber es gibt wohl keine unsinnigere Philosophie als diese. *Denn man kann ja fast nichts klar sagen*. Wenn man alles Unklare ausgemerzt hat, bleiben wahrscheinlich nur völlig uninteressante Tautologien übrig“ (Heisenberg ⁹1996, S. 317, Hervorhebung durch A.R.).

³⁰ So interpretiert er z.B. die Wahrscheinlichkeitsfunktion als klassische Potentia (Vermögen, Fähigkeit, Kraft): „Sie bedeutet[e] so etwas wie eine Tendenz zu einem bestimmten Geschehen. Sie bedeutet[e] die quantitative Fassung des alten Begriffs dynamis oder ‘Potentia’ in der Philosophie des Aristoteles. Sie führt[e] eine merkwürdige Art von physikalischer Realität ein, die etwa in der Mitte zwischen Möglichkeit und Wirklichkeit steht“ (Heisenberg 2000, S. 17f).

Er entwickelte, in enger Auseinandersetzung mit seinem Freund und Mitentdecker Niels Bohr, auch philosophische Gedanken zum Problem der Quantenmechanik, die sich letztlich vom Denken Hegels gar nicht so sehr unterscheiden.³¹

Den Übergang zur Wahrscheinlichkeitsfunktion kann man für Heisenberg so deuten, dass die Anordnung und erste Beobachtung, die mit den klassischen Begriffen vorgenommen wird, mit der Übersetzung deshalb irrelevant wird, weil in der Wahrscheinlichkeitsfunktion objektive (Experiment) und subjektive (Beobachter) Elemente vereinigt werden. Die Quantenmechanik enthält zwar dadurch keine eigentlich subjektiven Züge, denn sie führt nicht den Geist oder das Bewusstsein des Physikers als Teil des Atomvorgangs ein,

„aber sie beginnt mit der Einteilung der Welt in den Gegenstand und die übrige Welt und mit der Tatsache, daß wir jedenfalls diese übrige Welt mit den klassischen Begriffen beschreiben müssen. Diese Einteilung ist in gewisser Weise willkürlich und historisch eine unmittelbare Folge der in den vergangenen Jahrhunderten geübten naturwissenschaftlichen Methode“
(Heisenberg 2000, S. 57).

Interessant sind vor allem die Parallelen zu Hegels spekulativer Logik. Die strikte Trennung von Planck, die der Naturwissenschaft die objektive Seite der Wirklichkeit zuordnet, während sich die Religion (und Ethik) der subjektiven Seite menschlichen Lebens widmet, beide also auf unterschiedliche Fragen antworten, war Heisenberg nur als vorläufiger Notbehelf zulässig. Auch er sah, wie Hegel, dass es eine vorgängige Einheit der Bereiche geben musste.

Bereits Niels Bohr war die Einteilung in eine objektive und subjektive Seite der Welt zu gewaltsam. „Mit einer Zerlegung dieser Wirklichkeit in eine objektive und subjektive Seite wird man nicht viel anfangen können“ (Bohr, zitiert nach Heisenberg⁹1996, S. 301). Die objektive Welt der Naturwissenschaft war für Bohr zwar ein „idealer Grenzbegriff“, aber nicht die *Wirklichkeit* (Realität). Vielmehr deutete er die Paradoxien, Bilder und Gleichnisse der Religionen aller Zeiten als möglichen Zugang zur Wirklichkeit. Die Gleichnisse würden nur bedeuten, dass es eben keine andere Möglichkeit gäbe, „die Wirklichkeit [...] zu ergreifen. Aber es heißt nicht, daß sie keine echte Wirklichkeit sei“ (Bohr, zitiert nach Heisenberg⁹1996, S. 301). Der Experimentalphysiker muss für Bohr über seine Versuche reden können. Dabei verwendet er jedoch de facto Begriffe der klassischen Physik, „von denen wir wissen, daß sie nicht genau zur Natur passen“ (Bohr, zitiert nach Heisenberg⁹1996, S. 312).

“Die Quantentheorie ist ein so wunderbares Beispiel dafür, daß man einen Sachverhalt in völliger Klarheit verstanden haben kann und gleichzeitig doch weiß, daß man nur in Bildern und Gleichnissen von ihm reden kann“ (Bohr, zitiert nach Heisenberg⁹1996, S. 313).

³¹ „Außerdem enthält die erkenntnistheoretische Analyse der Quantentheorie, besonders in der Form, die Bohr ihr gegeben hat, manche Züge, die an die Methoden der Hegelschen Philosophie erinnern“ (Heisenberg 1971a, S. 31).

Ähnlich wie Hegel ist auch für Heisenberg die Frage nach der Realität, die die Quantenmechanik beschreibt, nur auf einer höheren Abstraktionsstufe beantwortbar. Die Religionen erfassen für ihn die Erkenntnisse mit einer anderen geistigen Formel. Die Sprache selbst kann keine außermenschlichen Begriffe zur Verfügung stellen, um näher an das Gemeinte (das *Eine* der Realität) heranzukommen. Deshalb kann "über den letzten Grund der Wirklichkeit" (auch bei Heisenberg ist das Gott) "nur im Gleichnis gesprochen werden" (Heisenberg ⁹1996, S. 334).³²

"Natürlich wissen wir, daß für uns die Wirklichkeit von der Struktur unseres Bewußtseins abhängt; der objektivierbare Bereich ist nur ein kleiner Teil unserer Wirklichkeit [...] in ihr [der Quantenmechanik] können wir in einer abstrakten mathematischen Sprache einheitliche Ordnungen über sehr weite Bereiche formulieren; wir erkennen aber gleichzeitig, daß wir dann, wenn wir in der natürlichen Sprache die Auswirkungen dieser Ordnungen beschreiben wollen, auf Gleichnisse angewiesen sind, auf komplementäre Betrachtungsweisen, die Paradoxien und scheinbare Widersprüche in Kauf nehmen" (Heisenberg ⁹1996, S. 319).

Am Schluss der Arbeit stellt sich natürlich die Frage: Warum das Ganze? Handelt man sich nicht durch den Versuch, die Quantenmechanik mit den Gedanken von Hegel zu deuten eine Theorie ein, die noch unverständlicher ist als die Quantentheorie selbst? Das hängt natürlich ganz von der Antwort auf die Frage(n) ab, die am Anfang dieser Arbeit gestellt wurde(n). Wenn die Quantentheorie (in der jetzigen Form) im echt ontologischen Sinn (Übereinstimmung "des Denkens mit seinem Gegenstand") *wahr* ist,³³ dann sagt sie etwas über die Natur und Realität als Ganzes aus, das unserem Alltagsverständnis völlig widerspricht. Dann muss geklärt werden, wie denn die Realität tatsächlich beschaffen ist - und warum unser (Alltags-) Verstand sie anders wahrnimmt. Damit ist man aber wieder bei den Gedanken von Hegel gelandet.

Was ihn aus meiner Sicht gegenüber der Kopenhagener Deutung (positiv) unterscheidet ist die Tatsache, dass er auch weiterhin daran festhalten würde, dass die menschliche Vernunft die Realität erfassen und beschreiben kann. Die Natur ist für Hegel eben vernünftig aufgebaut - und damit über die Vernunft auch erkennbar. Gegenüber Heisenberg zeichnet ihn aus, dass er nicht nur in Gleichnissen über die Realität zu sprechen bereit ist, denn seine spekulative Logik bleibt eine *wissenschaftliche* Tätigkeit menschlichen Denkens.

³² Vgl. dazu auch Heisenberg 1971b, S. 242: "Die Sprache der Bilder und Gleichnisse ist wahrscheinlich die einzige Art, sich dem 'Einen' von allgemeineren Bereichen her zu nähern [...] so dürfte an dieser Stelle die Sprache der Dichter wichtiger sein als die der Wissenschaft".

³³ Dafür spricht neben theoretischen Erwägungen und Ergebnissen auch die seit Jahrzehnten erfolgreiche technologische Anwendbarkeit (z.B. in CD-Spielern und Computern). Vgl. dazu auch das Eingangszitat von Sietmann auf S. 1.

“Das Wahre ist das Ganze”. Dieser berühmte Satz Hegels ist die Grundlage seines bedingten Realismus. Dieser ist für mich sehr viel befriedigender als die rein epistemische Interpretation, in der die Quantentheorie (und vielleicht jede wissenschaftliche Theorie) nur das wiedergibt, was der Mensch im Moment über bestimmte Sachverhalte (die Natur) weiß.

Literaturverzeichnis

- Bauberger, S. (1999): Naturphilosophie. Grenzfragen der Physik. Aufbau der Materie, Kosmologie, Quantentheorie. Unveröffentlichtes Manuskript zum Gebrauch der Hörer.
- Bohr, N. (1963): Das Quantenpostulat und die neuere Entwicklung der Atomistik. In: Heisenberg, W. & Bohr, N.: *Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie* (= Dokumente der Naturwissenschaft, Bd. 4). Stuttgart: Battenberg, S. 36 - 61
- Hegel, G.W.F. (1986): Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften I. Frankfurt: Suhrkamp
- Hegel, G.W.F. (1986): Wissenschaft der Logik I. Frankfurt: Suhrkamp
- Hegel, G.W.F. (1986): Wissenschaft der Logik II. Frankfurt: Suhrkamp
- Hermann, A. (1994): Heisenberg. Hamburg: Rowohlt
- Heisenberg, W. (1963): Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. In: Heisenberg, W. & Bohr, N.: *Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie* (= Dokumente der Naturwissenschaft, Bd. 4). Stuttgart: Battenberg, S. 9 - 35
- Heisenberg, W. (1971a): Die Plancksche Entdeckung und die philosophischen Grundfragen der Atomlehre. In: Heisenberg, W.: *Schritte über Grenzen. Gesammelte Reden und Aufsätze*. München: Piper, S. 20 - 42
- Heisenberg, W. (1971b): Das Naturbild der heutigen Physik. In: Heisenberg, W.: *Schritte über Grenzen. Gesammelte Reden und Aufsätze*. München: Piper, S. 109 - 127
- Heisenberg, W. (1971c): Das Naturgesetz und die Struktur der Materie. In: Heisenberg, W.: *Schritte über Grenzen. Gesammelte Reden und Aufsätze*. München: Piper, S. 223 - 242
- Heisenberg, W. (1996): Erste Gespräche über das Verhältnis von Naturwissenschaft und Religion; Positivismus, Metaphysik und Religion; Ordnung der Wirklichkeit. In: Dürr, H.-P. (Hrsg.) *Physik und Transzendenz*. Bern: Scherz, S. 295 - 336
- Heisenberg, W. (2000): Quantentheorie und Philosophie. Stuttgart: Reclam
- Mutschler, H.-D. (1990a): Physik, Religion, New Age. Würzburg: Echter
- Mutschler, H.-D. (1990b): Spekulative und empirische Physik. Aktualität und Grenzen der Naturphilosophie Schellings. Stuttgart: Kohlhammer
- Sietmann, R. (2000): Kleine Sprünge, große Wirkung. Vom Quantensprung zum Quantenrechner. c't (Magazin für Computertechnik) Nr. 25, Hannover: Heise, S. 118 - 133