

what is at issue is differential material embodiment (and not merely of humans), not in the sense of the conscious subjective experience of the individual human subject but in terms of different material configurations of ontological bodies and boundaries, where the actual matter of bodies is what is at issue and at stake.¹⁴⁹

Mit dem Beispiel des Stocks im Dunkeln zielen Bohr und Barad also darauf ab, dass es – anders als von der newtonschen Physik postuliert – keinen *inhärenten, fixierten* und *eindeutigen cartesianischen Schnitt* zwischen Subjekt und Objekt der Beobachtung geben kann, sondern dass dieser als *bohrscher Schnitt* begriffen werden muss und stets erst durch die zur Beobachtung verwendeten Apparate bzw. Praktiken *bestimmt* hervorgebracht wird.¹⁵⁰

Die soeben zitierten Ausführungen Barads zum Beispiel des Stocks im Dunkeln greifen zwar noch Kommendem bereits gleichsam als querschießende Fäden vor, wie es sich erst in den folgenden Kapiteln verdeutlichen lassen wird. Inwiefern es Barad hier aber eben nicht nur um subjektive Wahrnehmungen, sondern um körperlich vorhandene – oder eben nicht vorhandene – Grenzen geht, kann bereits hier, im nun anschließenden Kapitel 1.3 verhandelt werden, womit diese Untersuchung von mit Barad geführten allgemeineren Überlegungen zu einer detaillierteren Auseinandersetzung mit den grundlegenden Aspekten der bohrschen Philosophie-Physik in Barads Verständnis übergeht.

1.3 Bohrs Komplementaritätsprinzip versus Heisenbergs Unschärferelation

The simultaneous centrality and marginality of Bohr's views is also particularly interesting: on the one hand, he was a hero, a leader of the physics community; on the other hand, he was too ›philosophical‹ in his approach to physics.¹⁵¹

Dieses Kapitel 1.3 soll Niels Bohrs *Komplementaritätsprinzip* und seine *Unbestimmtheitsrelation* auf Basis der von Barad konstatierten Differenzen zwischen Bohrs und Werner Heisenbergs Analysen entwickeln. Daher wird in diese Untersuchung mit Heisenbergs Gammastrahlenmikroskop ein weiterer Experimentalapparat eingeführt, anhand dessen sich die Schlussfolgerungen Bohrs mit denen Heisenbergs kontrastieren lassen. Die folgende Gegenüberstellung von Bohrs *Komplementaritätsprinzip* und Heisenbergs *Umschärferelation* wird sich auch darum als zentral für Barads quantenphysikalische Interpretation und ihren agentiellen Realismus erweisen, da Barad anhand dieser die Frage nach der Tragweite der Implikationen der Philosophie-Physik Bohrs verhandelt, nämlich ob den quantenphysikalischen Befunden und Schlussfolgerungen Bohrs lediglich *epistemologische* und *semantische* oder auch *ontische* bzw. *ontologische*¹⁵² Bedeutsam-

149 Ebd.

150 Vgl. ebd., S. 125 bzw. das einleitende Motto zu diesem Kapitel 1.2.4.

151 Ebd., S. 69.

152 Barads Arbeiten nehmen keinen Bezug auf eine terminologische Unterscheidung von *ontisch* und *ontologisch* und scheinen auch implizit keine derartige aufzumachen: Zwar werden in *Meeting the*

keit zugesprochen werden muss.¹⁵³ Um dies herauszuarbeiten wird dieses Kapitel 1.3 bei Heisenbergs Unschärferelation ansetzen und erst von dort aus seine Fäden zu den Überlegungen Bohrs und Barads zurück spinnen.

1.3.1 Heisenbergs Unschärferelation

Heisenberg, Schrodinger and Ohm are in a car.

They get pulled over. Heisenberg is driving and the cop asks him: ›Do you know how fast you were going?‹

›No, but I know exactly where I am!‹ Heisenberg replies.

The cop says: ›You were doing 55 in a 35.‹

Heisenberg throws up his hands and shouts: ›Great! Now I'm lost!‹¹⁵⁴

Universe Halfway einige wesentliche Begriffe wie »separability« und »inseparability« stets als »ontological« bezeichnet (beispielsweise S. 33 und S. 321) und auch der in vorliegender Arbeit noch zu explizierende Phänomenbegriff (vgl. besonders Kapitel 3.1.1) wird von Barad stets als das »primary ontological unit« (beispielsweise S. 33) benannt, an keiner Stelle als *ontic*. Ebenso wird »nature« an einigen Stellen als »ontological« adressiert (beispielsweise S. 97 als »the true ontological nature of light«) und nirgendwo als *ontic*. Auf der anderen Seite gibt es andere wesentliche Begriffe, denen mal ontologischer, mal ontischer Charakter zugeschrieben wird: Dies gilt beispielsweise für Barads Begriffe der Bestimmtheit und Unbestimmtheit (*determinacy* und *indeterminacy*), die mal als »ontic« (S. 295) sowie als »semantic-ontic« (S. 120) und »ontic-semantic« (S. 302) bezeichnet werden, mal als »ontological« (S. 175, S. 269 und S. 274) oder »ontologically indeterminate« (S. 268) sowie als »ontological (and semantic)« (S. 140 und S. 334) und ebenso als »ontologically and semantically indeterminate« (S. 316). Die hierbei genannten Stellen zeigen auch, dass nicht etwa die Verwendung von *semantic* zwingend die Verwendung von *ontic* statt *ontological* implizieren würde. Ebenso spricht Barad zwar von Bohrs Unbestimmtheitsrelation und Komplementaritätsprinzip als »ontic« (S. 261 und S. 309), zugleich aber geht es um den Umstand, dass »Bohr's point is at once semantic and ontological« (S. 422 Fn. 16). Zu den Indizien dafür, dass Barad keine relevante Trennung von *ontisch* und *ontologisch* intendiert, zählt auch, dass *ontic* keinen eigenen Eintrag im Stichwortregister von *Meeting the Universe Halfway* erhalten hat, sondern nur der Begriff *ontology*. Diese Arbeit verwendet daher *ontisch* und *ontologisch* synonym.

- 153 Vgl. für die Bedeutsamkeit dieser Gegenüberstellung allein schon die Aufarbeitung der Analysen Heisenbergs und Bohrs im einleitenden Kapitel ›The Science and Ethics of Mattering‹ von *Meeting the Universe Halfway* (S. 3-38): Unter Bezug auf Michael Frayns Theaterstück *Copenhagen* (2000) expliziert Barad hier Heisenbergs Unschärferelation ebenso wie Bohrs Komplementaritätsprinzip, um den Boden und den Tenor für die Argumente des Buchs zu setzen. Frayns Stück dient ihr in diesem Sinne als Negativbeispiel für ein Verständnis quantenphysikalischer Implikationen, das rein epistemologischen Gesichtspunkten verhaftet bleibt und daher – im Gegensatz zum agentiellen Realismus – zu unzureichenden Schlussfolgerungen kommen muss.
- 154 Reddit (2015): ›Heisenberg, Schrodinger and Ohm Are In a Car.‹ Die Interpunktions des Zitats wurde aus Gründen der Lesbarkeit verändert.

Wie Barad darlegt, entwickelt Werner Heisenberg, Protegé¹⁵⁵ und enger Kollege¹⁵⁶ von Niels Bohr, das Konzept der Unschärferelation zur selben Zeit wie Bohr das Komplementaritätsprinzip.¹⁵⁷ Beide epistemologischen Rahmenkonzepte¹⁵⁸ gelten als Rückgrat der sogenannten *Kopenhagener Interpretation* der Quantenphysik,¹⁵⁹ die seit den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts von der Mehrheit der Physiker*innen als gültig anerkannt wird.¹⁶⁰ Entgegen der verbreiteten Auffassung handelt es sich bei dieser Interpretation allerdings nicht um eine einheitliche Theorie, sondern eher um eine Art funktionalen Kompromiss.¹⁶¹

While physicists, philosophers, historians, and others talk of *the Copenhagen interpretation*, in an important sense there are really many Copenhagen interpretations; or to put it another way there is no determinate or well-defined, coherent, and complete Copenhagen interpretation. [...] [S]o that what is taken to be *the Copenhagen interpretation* is actually a superposition of the disparate views of a group of physicists who include Bohr (complementarity), Heisenberg (uncertainty), Born (probability), and von Neumann (projection postulate), to name a few of the key players.¹⁶²

Entsprechend liegt die allgemeine Anerkennung der Kopenhagener Interpretation auch nicht in einer Übereinkunft der physikalischen Gemeinschaft in interpretatorischen Fragen begründet, sondern in dem praktischen Umstand, dass sich quantenphysikalische Prozesse mit den vom Kopenhagener Kreis¹⁶³ entwickelten Methoden am geeignetsten berechnen lassen: »When it comes to discussing the interpretational issues, a host of possibilities have been advanced. But when it comes to doing calculations, there is an instrumental agreement to use the so-called Copenhagen interpretation.«¹⁶⁴

Wie Barad nun ausführt, täuscht diese scheinbare Einheitlichkeit der in der Kopenhagener Interpretation zusammengefassten Ansätze auch darüber hinweg, dass es sich bei Bohrs Komplementaritätsprinzip und Heisenbergs Unschärferelation um grundlegend verschiedene Positionen handelt: »Although it is often said that complementarity and uncertainty are the cornerstones of the Copenhagen interpretation, the fact is that

¹⁵⁵ Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 3.

¹⁵⁶ Vgl. ebd., S. 123. Barad beschreibt das Verhältnis zwischen Bohr und Heisenberg, beide Nobelpreisträger und führende Köpfe der quantenphysikalischen Revolution, als eines wie zwischen Vater und Sohn – eine Verbindung, die allerdings spätestens mit Heisenbergs Besuch bei Bohr in Kopenhagen im September 1941 ein »explosives Ende« (Barad (2015): »Quantenverschränkungen und hantologische Erbschaftsbeziehungen«, S. 74) fand, was nicht zuletzt mit Bohrs kritischer Haltung gegenüber Heisenbergs leitender Rolle in der deutschen Atombombenentwicklung zusammenhing (vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 3). Vgl. hierzu auch die instruktiven Ausführungen in Barla (2019): *The Techno-Apparatus of Bodily Production*, S. 124-125.

¹⁵⁷ Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 115.

¹⁵⁸ Vgl. ebd.

¹⁵⁹ Vgl. ebd., S. 295.

¹⁶⁰ Vgl. ebd., S. 27 und S. 68.

¹⁶¹ Vgl. ebd., S. 414-415 Fn. 48.

¹⁶² Ebd. Vgl. dazu ebenso ebd., S. 453-454 Fn. 9.

¹⁶³ So spricht auch Barad vom »Copenhagen circle« (ebd., S. 27).

¹⁶⁴ Ebd., S. 251.

these respective contributions constitute fundamentally different, indeed arguably incompatible, interpretative positions.«¹⁶⁵

So entwickelt Heisenberg die berühmte *Unschärferelation*¹⁶⁶ in seiner Arbeit ›Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik¹⁶⁷ von 1927. Hier führt er ein Gedankenexperiment¹⁶⁸ an, das seine Überlegungen zum Welle-Teilchen-Dualismus von physikalischen Objekten wie Photonen oder Elektronen explizieren soll. Dieses Experiment sieht die Messung der Position eines einzelnen Elektrons mittels eines Gammastrahlenmikroskops vor und wird von Heisenberg wie folgt beschrieben:

Man beleuchte das Elektron und betrachte es unter einem Mikroskop. Die höchste erreichbare Genauigkeit der Ortsbestimmung ist hier im wesentlichen durch die Wellenlänge des benutzten Lichtes gegeben. Man wird aber im Prinzip etwa ein Γ -Strahl-Mikroskop bauen und mit diesem die Ortsbestimmung so genau durchführen können, wie man will. Es ist indessen bei dieser Bestimmung ein Nebenumstand wesentlich: der Comptoneffekt. Jede Beobachtung des vom Elektron kommenden Streulichtes setzt einen lichtelektrischen Effekt (im Auge, auf der photographischen Platte, in der Photozelle) voraus, kann also auch so gedeutet werden, daß ein Lichtquant das Elektron trifft, an diesem reflektiert oder abgebeugt wird und dann durch die Linsen des Mikroskops nochmal abgelenkt den Photoeffekt auslöst. Im Augenblick der Ortsbestimmung, also dem Augenblick, in dem das Lichtquant vom Elektron abgebeugt wird, verändert das Elektron seinen Impuls unstetig. Diese Änderung ist um so größer, je kleiner die Wellenlänge des benutzten Lichtes, d.h. je genauer die Ortsbestimmung ist. In dem Moment, in dem der Ort des Elektrons bekannt ist, kann daher sein Impuls nur bis auf Größen, die jener unstetigen Änderung entsprechen, bekannt sein; also je genauer der Ort bestimmt ist, desto ungenauer ist der Impuls bekannt und umgekehrt [...].¹⁶⁹

165 Ebd., S. 115.

166 Vgl. beispielsweise ebd., S. 7 und ebd., S. 116.

167 Barad zitiert eine englische Übersetzung des Texts, gibt aber im Literaturverzeichnis von *Meeting the Universe Halfway* die bibliografischen Daten der deutschsprachigen Originalversion aus der Zeitschrift für Physik an, lediglich mit englischem Titel: ›The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics‹ (vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 483). Bei der von Barad herangezogenen englischsprachigen Version dieses Texts Heisenbergs handelt es sich um den übersetzten Wiederabdruck in Wheeler/Zurek (Hg.) (1983): *Quantum Theory and Measurement*.

168 Das von Heisenberg beschriebene Experiment kann wohl ebenfalls als ein Gedankenexperiment aufgefasst werden, da sich die diesbezügliche Darstellung um allgemeinere Beobachtungen und Prinzipien und nicht um die Probleme der praktischen Umsetzung dreht. Dennoch macht Heisenberg kenntlich, dass das von ihm dargestellte Gammastrahlenmikroskop zur Zeit der Abfassung des Texts bereits umsetzbar war – so in Heisenberg (1927): ›Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik‹, S. 174: ›An solchen Experimenten, die im Prinzip den ›Ort des Elektrons‹ sogar beliebig genau zu bestimmen gestatten, ist kein Mangel [...].‹

169 Ebd., S. 174-175. Dieses Zitat gibt Barad in seiner englischsprachigen Version wieder in Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 116. Bei dem genannten Comptoneffekt handelt es sich Barad zufolge um »the scattering of a photon from an electron« (ebd.).

Wie Barad schreibt, entspricht Heisenbergs Gedankenexperiment zu einem gewissen Grad dem in Kapitel 1.2 aufgearbeiteten time-of-flight measurement:¹⁷⁰ In beiden Fällen geht es um die Messung der Position eines einzelnen Elektrons, in beiden Versuchsaufbauten wird Licht für diese Messung eingesetzt und auch in Heisenbergs Analyse geht es zentral um die bei Messungen auftretenden *Störungen*: »In other words, according to Heisenberg's analysis, the key issue is the discontinuous change in the electron's momentum, that is, the fact that it is *disturbed* by the photon in the attempt to determine the electron's position.«¹⁷¹ Die Existenz dieser Störung bedeutet für Heisenberg, dass es Beobachter*innen nicht möglich ist, zugleich den Ort *und* den Impuls des gemessenen Elektrons exakt zu bestimmen. Auch die Ergebnisse der Überlegungen Heisenbergs und Bohrs scheinen sich also zuerst einmal zu gleichen – Heisenberg zieht wie Bohr den Schluss, dass Position und Impuls des zu messenden Elektrons nicht zugleich exakt bestimmt¹⁷² werden können.

Im Fall von Heisenbergs Gammastrahlenmikroskop heißt das aber: Wenn die Wellenlänge des zur Messung verwendeten Lichtquants soweit wie möglich verkleinert wird, um die *Position* des Elektrons genau zu bestimmen, hat diese Verkleinerung der Wellenlänge zur Folge, dass die diskontinuierliche Änderung bzw. Störung im *Impuls* dieses Elektrons zunimmt.¹⁷³ Und umgekehrt, wenn die Wellenlänge des zur Messung verwendeten Lichtquants soweit wie möglich vergrößert wird, schwindet zwar die Störung des *Impulses* des Elektrons, dafür aber kann mittels Lichts von dieser Wellenlänge

¹⁷⁰ Vgl. ebd.

¹⁷¹ Ebd. Heisenberg spricht strenggenommen von einer *Änderung* am gemessenen Elektron, ihm folge »verändert das Elektron seinen Impuls unstetig während der Messung (Heisenberg (1927): „Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik“, S. 175). Da damit aber nichts anderes ausgedrückt ist als die durch den Messvorgang hervorgerufene Störung am gemessenen Objekt fasst auch Barad diesen Begriff Heisenbergs als *disturbance*.

¹⁷² Der Begriff *bestimmt* ist bereits zuvor in dieser Arbeit aufgetreten – in diesem Kapitel bietet sich aber der Kontext an, ihn näher zu spezifizieren: Barad spricht in *Meeting the Universe Halfway* von »determinate« (beispielsweise S. 19-22 oder auch S. 126-128) und entsprechend »indeterminate« (S. 75), seltener auch von »definite« (S. 262) und entsprechend von »indefinite« (S. 93), aber auch von »well defined« (S. 111 und S. 160) bzw. »well-defined« (S. 196 oder S. 299-301). Eine strikte Zuordnung dieser Begriffe wie etwa von *well defined* nur zu Begriffen, von *determinate* nur zu Eigenschaften von Objekten lässt sich nicht feststellen. Ich fasse diese Termini entsprechend als Synonyme auf und übersetze sie – zumindest, wenn der Kontext bzw. die direkten Zitate Barads nicht anderweitige Übersetzungen nahelegen – einheitlich mit *bestimmt* bzw. entsprechend mit *unbestimmt*. Ich folge damit unter anderem Astrid Wege (Barad (2012): *What Is the Measure of Nothingness?*, S. 6-7 und S. 21-22) und Jennifer Sophia Theodor, die beispielsweise »determination« und »indeterminate« (Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 75) durch »Bestimmung« und »unbestimmte« (Barad (2013): »Diffraktionen«, S. 34) übersetzt. Ich entscheide mich vor allem für diese Übersetzung, da diese Wiedergabe als *bestimmt* bzw. *unbestimmt* die Differenz Barads zu Heisenbergs Unschärferelation markiert und zugleich der entscheidenden Bedeutung der Unbestimmtheitsrelation Bohrs für Barads agentiellen Realismus Rechnung trägt. Der weitere Bedeutungszusammenhang des Begriffs *bestimmt* in Bezug auf Bohr und in Abgrenzung von Heisenberg wird in diesem Kapitel 1.3 noch deutlicher werden und diese Arbeit als ein wesentlicher argumentativer Strang durchziehen.

¹⁷³ Heisenberg (1927): »Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik«, S. 174-175.

die *Position* des Elektrons nicht mehr exakt bestimmt werden.¹⁷⁴ Somit liegt die Ursache dafür, dass immer nur der Wert einer dieser beiden Eigenschaften exakt bestimmt werden kann, Heisenberg zufolge in den *Messmethoden*, im *erkenntnistheoretischen Zugang* der Beobachter*innen zu den gemessenen Objekten.¹⁷⁵ Entsprechend ließen sich Heisenbergs Überlegungen auf Basis der auch von Barad zur Erklärung des time-of-flight measurement herangezogenen Sprache der klassischen Physik bzw. Optik¹⁷⁶ wie folgt illustrieren:

Heisenbergs *Unschärfe* ist konzeptuell vergleichbar mit der Unschärfe, die eine kurzsichtige Person wahrnimmt, wenn sie ohne Sehhilfe auf ein entferntes Objekt, wie etwa einen blühenden Baum blickt.¹⁷⁷ Auch in diesem Fall kann diese Unschärfe nicht dem gemessenen bzw. wahrgenommenen Objekt zugesprochen werden – es ist also nicht der Baum, der unscharf *ist*. Diese Unschärfe hat ihre Ursache vielmehr in einer Limitierung der Beobachter*innen bzw. deren Mess- und Beobachtungspraktiken – wie beispielsweise der fehlenden Sehhilfe. Heisenberg geht es entsprechend ausschließlich darum, was in einer Messung über Ort und Impuls des gemessenen Objekts zugleich »bekannt«¹⁷⁸ sein kann und nicht um die Frage, welche Eigenschaften das gemessene Objekt vor, während oder nach der Messung hat und ob diese bestimmt sind oder nicht. In Barads Worten impliziert seine Unschärferelation lediglich

a limitation to what we can *know*. In other words, a determinate value of the electron's momentum is assumed to exist independently of measurement, but we can't know it; we remain *uncertain* about its value, owing to the unavoidable disturbance caused by the measurement interaction.¹⁷⁹

¹⁷⁴ Ebd., S. 175.

¹⁷⁵ Ebd.

¹⁷⁶ Vgl. für Barads Erläuterungen zum Unterschied von klassischer geometrischer und quantenphysikalischer Optik auch Barad (2013): >Diffraktionen<, S. 47–50 und das Kapitel 2.1 zur Diffraktion in dieser Arbeit. Die hier gegebene Illustration der Unschärfe Heisenbergs bleibt, ähnlich wie die Darstellung des time-of-flight measurement (Kapitel 1.2), im Rahmen klassischer physikalischer Erklärungskonzepte, um die Differenz zwischen der Analyse Heisenbergs und der Analyse Bohrs deutlicher zu markieren. Dennoch ist dieses Beispiel nicht zu buchstabengetreu zu nehmen: So bleibt hier beispielsweise der Umstand unbeachtet, dass bei Messungen in Heisenbergs und Bohrs Sinne die durch die Messung hervorgerufene Störung das gemessene Objekt affiziert und so stören und dadurch erst unscharf erscheinen lassen müsste. Vgl. dazu auch die direkt folgende Fußnote 177.

¹⁷⁷ In den englischsprachigen Arbeiten Barads geht es entsprechend darum, dass heisenbergsche Beobachter*innen »*uncertain*« (Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 116) bleiben über die Eigenschaften des gemessenen Objekts. Diese Formulierung geht mit dem hier gegebenen Terminus der *Unschärfe* weitestgehend konform, spielt aber weit weniger als das deutschsprachige Pendant auf die zur Beobachtung eingesetzten Apparate, wie die kurzsichtigen Augen oder die Sehhilfe der Brille als Medien der Messung an. Daher ist das Beispiel des blühenden Baums auch deswegen unter Vorbehalt zu begreifen, da es die Betonung des Wissens der Beobachter*innen, das vom englischen Begriff der *uncertainty* sehr viel stärker betont zu werden scheint, nur sekundär ins Spiel bringt.

¹⁷⁸ Heisenberg (1927): >Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik<, S. 175.

¹⁷⁹ Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 116.

Heisenbergs Unschärferelation ist also ein *epistemisches*, ein erkenntnistheoretisches Prinzip – ihm geht es darum, dass Beobachter*innen je nach Art der Messung bestimmte Eigenschaften der gemessenen Objekte nicht scharf *erkennen* und nichts Bestimmtes von ihnen *wissen* können, dass diese Eigenschaften aber dessen ungeachtet wie der genannte Baum durchaus bestimmt und definit *existieren*.¹⁸⁰

Sollten die im bisherigen Verlauf dieser Arbeit angesponnenen quantenphysikalischen Befunde also in diesem von Heisenberg geprägten Sinne *epistemologisch* ausgelegt werden, hieße dies, dass die beobachtenden Agenzien zwar stets nur eine von zwei komplementären Eigenschaften exakt bestimmen und beobachten können, dass aber dennoch – ganz wie in der klassischen newtonschen Physik angenommen – stets beide in Frage stehende Eigenschaften des beobachteten Objekts bestimmt *sind*. Das Elektron aus dem time-of-flight measurement in Kapitel 1.2 hätte also zugleich einen bestimmten Impuls und eine bestimmte Position inne – Beobachter*innen könnten aber, würden sie den Impuls des Objekts exakt bestimmen wollen, nicht zugleich die Position exakt bestimmen können und umgekehrt.

Bezeichnenderweise aber fügt Heisenberg der genannten Arbeit von 1927 noch vor Veröffentlichung ein Postskriptum an, zu dessen Abfassung er sich nach erhitzten Debatten mit Bohr durchgerungen hat.¹⁸¹ In den Worten Barads: »When Heisenberg showed his uncertainty paper to Bohr, Bohr complained that the paper contained a fundamental error. Heisenberg acquiesced and added a postscript to his paper that acknowledges the flaw in his reasoning«¹⁸². Was Heisenberg in diesem »Nachtrag bei der Korrektur«¹⁸³ formuliert, zeugt bereits von den fundamentalen Unterschieden zwischen seiner Unschärferelation und dem Komplementaritätsprinzip Bohrs:¹⁸⁴

Nach Abschluß der vorliegenden Arbeit haben neuere Untersuchungen von Bohr zu Gesichtspunkten geführt, die eine wesentliche Vertiefung und Verfeinerung der in dieser Arbeit versuchten Analyse der quantenmechanischen Zusammenhänge zulassen. In diesem Zusammenhang hat mich Bohr darauf aufmerksam gemacht, daß ich in einigen Diskussionen dieser Arbeit wesentliche Punkte übersehen hatte. Vor allem beruht die Unsicherheit in der Beobachtung nicht ausschließlich auf dem Vorkommen von Diskontinuitäten, sondern hängt direkt zusammen mit der Forderung, den verschiedenen Erfahrungen gleichzeitig gerecht zu werden, die in der Korpuskulartheorie einerseits, der Wellentheorie andererseits zum Ausdruck kommen.¹⁸⁵

Dieses Postskriptum und sein Inhalt sind allerdings nicht nur weitestgehend in Vergessenheit geraten,¹⁸⁶ die Unschärferelation Heisenbergs gilt zudem weitverbreitet als

¹⁸⁰ Vgl. ebd.

¹⁸¹ Vgl. ebd., S. 301.

¹⁸² Ebd., S. 115.

¹⁸³ Heisenberg (1927): »Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik«, S. 197.

¹⁸⁴ Vgl. an dieser Stelle bereits Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 301.

¹⁸⁵ Heisenberg (1927): »Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik«, S. 197-198.

¹⁸⁶ So Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 116: »While the immense fame of the uncertainty principle has overflowed from physics into the popular culture, few seem to even be aware of the

befriedigende Antwort auf die quantenphysikalischen Mysterien, wie das Doppelspalt-experiment aus Kapitel 1.1 sie impliziert und verkörpert: »The uncertainty principle continues to be taught to students and spoken of by physicists and nonphysicists in accord with Heisenberg's account when by his own admission his account had been based on a fundamental error.«¹⁸⁷ Dieses Festhalten an der Analyse Heisenbergs ist laut Barad besonders deshalb erstaunlich, da der unbeachtete ›Nachtrag bei der Korrektur‹ nicht lediglich die Berichtigung einiger Aspekte der Analyse Heisenbergs beinhaltet, sondern deren grundlegende Infragestellung: »In an important sense, this postscript constitutes an undoing of the analysis that he presents in the body of the text, and yet this erroneous analysis has become the standard exposition on the reciprocity relations.«¹⁸⁸ Wenn Heisenbergs Analyse aber dessen eigenem Zugeständnis nach unzureichend ist, worin bestehen dann die dieses Zugeständnis notwendig machenden Versäumnisse seiner Unschärferelation, wie Bohr und Barad sie unter Bezugnahme auf das Komplementaritätsprinzip herausstreichen?

existence of this postscript or its import. More importantly, the physics community seems to have forgotten it.« Vgl. dazu auch Barads Hinweis in ebd., S. 19 auf den »little-known and seldom-acknowledged but crucial historical fact that Heisenberg ultimately acquiesced to Bohr's point of view and made his concession clear in a postscript to the paper on his famous uncertainty principle.« Das Verschwinden dieses Postskriptums aus physikalischen Diskursen lässt sich wohl nicht zuletzt auch mit der von Barad für die Physik diagnostizierten Lage in Verbindung bringen, der zu-folge dieses Feld seit geraumer Zeit keine Verwendung für interpretatorische Fragen hat und statt-dessen eine funktionalistische Haltung propagiert, nach der es allein erstrebenswert ist, einen geeigneten und die empirischen Befunde bestätigenden Formelapparat zu besitzen. Vgl. hierzu besonders Barads Ausführungen bezüglich der unter anderem von Richard Feynman maßgeblich propagierten Haltung in der Physik in Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics.« Für die diesbezüglichen Verflechtungen zwischen Physik und Mathematik vgl. auch Er-lemann (2004): »Inszenierte Erkenntnis, besonders S. 69-71.

- 187 Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 301. Vgl. dazu auch die folgende Feststellung Barads: »It is unfortunate that this crucial postscript to Heisenberg's paper has (for the most part) been for-gotten and its implications lost. The fact remains that the common public conception of the un-certainty principle is (at best) the epistemic version that Heisenberg himself retracted. But even more unfortunate, surely, is the fact that many physics textbooks, physics students, and profes-sional physicists share this misconception.« (Ebd., S. 118)
- 188 Ebd., S. 301. Mit *reciprocity relations* ist nichts anderes gemeint als die »reciprocal relation between position and momentum« (ebd., S. 118), wie sie im in Kapitel 1.1 beschriebenen Doppelspaltexperiment auftritt; also das von Bohr als komplementär bezeichnete Verhältnis des wechselseitigen Ausschlusses und der wechselseitigen Notwendigkeit von Position und Impuls, Welle und Teilchen oder vergleichbaren Begriffen. Barad verwendet diesen Terminus – auch als *relations of reciprocity* – unter anderem, um die gängige Bezeichnung der *uncertainty relations* zu umgehen, die gemeinhin eben auch für Bohrs Erkenntnisse verwendet wird, aber dem von Barad zentral kritisierten Miss-verständnis Vorschub leistet, Bohrs Komplementaritätsprinzip hinge mit Heisenbergs Unschärfe-relation zusammen oder entspräche gar dieser (vgl. ebd., S. 459 Fn. 65). *Reciprocity relations* dient Barad in diesem Sinne als ein neutraler Begriff, der diese Missverständlichkeit zu umgehen er-laubt. Vgl. hierzu auch in Kapitel 1.1.3 die Fußnote 70.

1.3.2 Bohrs Komplementaritätsprinzip und Unbestimmtheitsrelation

For Bohr, the real issue is one of *indeterminacy*, not uncertainty [...].¹⁸⁹

Um die in diesem Kapitel 1.3 angestrebte Aufarbeitung der Unterschiede zwischen Bohrs und Heisenbergs Analysen und damit der inhaltlichen Aspekte des Komplementaritätsprinzips Bohrs weiter vorzubereiten, soll die folgende formal-begrifflich orientierte Vorarbeit zu den von Barad dabei verhandelten Termini und ihren Zusammenhängen erst die dafür notwendigen Anknüpfungspunkte entwickeln und herausarbeiten, warum es auf Bohrs Seite um zwei Begriffe – nämlich um Komplementaritätsprinzip *und* Unbestimmtheitsrelation – geht, während für Heisenberg lediglich die Unschärferelation als bedeutsam markiert werden kann.

1.3.2.1 Formal-begriffliche Vorarbeit

Note: There is a misconception that surfaces now and again that understands Bohr's complementarity as relying on Heisenberg's uncertainty principle for its enforcement. This is incorrect. Surely it doesn't make sense to see it that way if one understands that the two principles instantiate contrary philosophical views.¹⁹⁰

Wie Barads Ausführungen zur Kopenhagener Interpretation der Quantenphysik bereits andeuteten, werden Bohrs Komplementaritätsprinzip und Heisenbergs Unschärferelation allgemein als miteinander zusammenhängend verstanden und das gar in dem Sinne, dass Bohrs Komplementaritätsprinzip erst auf Basis der Unschärferelation Heisenbergs möglich gewesen sein soll: »For many physicists, including researchers who are actively investigating Bohr's principle of complementarity, there is a persistent (but mistaken) belief that Bohr argues for complementarity on the basis of Heisenberg's uncertainty principle.¹⁹¹ Barad kennzeichnet diese Auffassung als inkorrekt und verweist darauf, dass ein Verständnis der Philosophie-Physik Bohrs notwendigerweise unvollständig bleiben muss, wenn neben seinem Komplementaritätsprinzip nicht auch sein *indeterminacy principle* – seine *Unbestimmtheitsrelation*¹⁹² – Beachtung findet: Laut Barad nämlich ist es ein »significant and underappreciated fact [...] that Bohr introduced an *indeterminacy principle* as part of his larger complementarity framework that can usefully be contrasted with Heisenberg's uncertainty principle [...].«¹⁹³

189 Ebd., S. 118.

190 Ebd., S. 425 Fn. 32.

191 Ebd., S. 309. Barad bekräftigt diese Aussage auch auf ebd., S. 460 Fn. 74.

192 Ich übersetze Barads *indeterminacy principle* als *Unbestimmtheitsrelation*, indem ich mich an der Übersetzung von *uncertainty principle* als Unschärferelation orientiere. Dies erscheint stimmig, da es in beiden Fällen um die *Relation* von Eigenschaften wie Position oder Impuls geht. Um diese beiden Begriffe wiederum von Bohrs *complementarity principle* abzuheben, übersetze ich dieses als Komplementaritätsprinzip, eine Aufteilung, die den im Folgenden noch ausgeführten Zusammenhängen zwischen diesen drei Termini korrespondiert. Diese Übersetzung von »*indeterminacy*« als »*Unbestimmtheit*« findet sich unter anderem auch in Barad (2012): *What Is the Measure of Nothingness?*, S. 19-32 und in der medienwissenschaftlichen Debatte zur Relevanz der neuen Materialisten in Trinkaus (2014): »Welcher Tisch?«, S. 185.

193 Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 116.

Dieser Begriff des *indeterminacy principle* findet sich zwar weder in dieser englischen, noch in seiner deutschsprachigen Variante als Unbestimmtheitsrelation in den Arbeiten Bohrs,¹⁹⁴ sondern stellt eine terminologische Neukonzeption Barads dar.¹⁹⁵ Allerdings soll dieser Terminus nichtsdestoweniger bei Bohr bereits vorhandene Schlussfolgerungen markieren, indem er zwei Punkte auf den Begriff bringt, wie sie für ein Verständnis der Differenzen zwischen Bohrs und Heisenbergs Analyse – und auch für das Verständnis der agentiell-realistischen Theorie Barads – entscheidend sind:

So führt Barad den Begriff der Unbestimmtheitsrelation zum einen ein, um eine *Parallele* zwischen den Arbeiten Bohrs und Heisenbergs zu markieren: »[...] I introduce the term ›Bohr's indeterminacy relations‹ as an explicit parallel to ›Heisenberg's uncertainty relations.«¹⁹⁶ Beide Begriffe nämlich beziehen sich auf quantitative Ausdrücke bzw. Formeln in den Arbeiten Bohrs bzw. Heisenbergs – und nicht nur das: Wie Barad darlegt, stimmen die von Bohr und Heisenberg gegebenen Formeln auch formal überein, das heißt, es handelt sich bei diesen um syntaktisch identische Ausdrücke.¹⁹⁷ Das bedeutet, dass Bohrs Überlegungen bereits einen eigenen quantitativen Ausdruck, eine eigene Formel beinhalten, wodurch jeder Einbezug von Heisenbergs syntaktisch iden-tischer Formel – seiner Unschärferelation – zusätzlich zu Bohrs Überlegungen schlicht unnötig wird.¹⁹⁸ Ja, die Frage nach der Notwendigkeit und dem Charakter einer Verbindung zwischen Bohrs Komplementaritätsprinzip und Heisenbergs Unschärferelati-on kann für Barad aufgrund dieser formal übereinstimmenden Formeln nichts anderes

¹⁹⁴ So ebd., S. 425 Fn. 34: »[...] ›Bohr's indeterminacy principle‹ [...]. This identification was (unfor-tunately) not used by Bohr, though it could have been very helpful in clarifying the issues.« Überhaupt tendiert Bohr Barads Darstellungen zufolge dazu, die Bedeutung der diesbezüglichen Stellen in seiner Arbeit zu verschleieren: »The next section of Bohr's paper [Bohr (1928): ›The Quan-tum Postulate‹] was unfortunately given the bland, understated title ›Quantum of Action and Kine-matics,‹ when what was called for was some eye-catching title that would set this section off in a way that signaled its importance, something like ›The Complementarity Relations‹ or ›The Inde-terminacy Relations.« (Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 297)

¹⁹⁵ Vgl. ebd., S. 424 Fn. 29.

¹⁹⁶ Ebd.

¹⁹⁷ Vgl. ebd. Entsprechend des Vorhabens, in dieser Arbeit im Sinne Barads »Dinge über Quanten-physik« zu vermitteln, und zwar »ohne die Mathematik« (Barad/Theodor (2015): ›Verschränkun-gen und Politik‹, S. 184), gebe ich die entsprechenden Formeln Bohrs und Heisenbergs nicht an. Heisenbergs Unschärferelation findet sich als Relation (1) bzw. Gleichung (1) in Heisenberg (1927): ›Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik‹, S. 175 und S. 196, wobei auch Bohr diese Formel Heisenbergs angibt in Bohr (1928): ›The Quantum Postulate‹, S. 585. Für Bohrs entsprechende Unbestimmtheitsrelation wäre ebenso Bohr (1928): ›The Quan-tum Postulate‹ heranzuziehen – da es sich bei dieser Unbestimmtheitsrelation aber um Barads Terminus handelt, ist dem die Darstellung in Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 297–300 vorzuziehen, besonders die Formel auf S. 300, die Barad zufolge formal sowohl als Bohrs Un-bestimmtheitsrelation wie auch als Heisenbergs Unschärferelation Geltung verlangen kann. Die hier bei Barad dargestellte Ungleichung weicht allerdings von der von Heisenberg gegebenen For-mel ab und gibt die heute in der Physik gelehrt Schreibweise dieser Formel wieder – wie Barad zumindest implizit angibt.

¹⁹⁸ Vgl. dazu auch ebd., S. 304: »[...] Bohr's own quantitative expression of complementarity – the ›in-determinacy principle.‹«

sein als ein »red herring«¹⁹⁹: »[...] Bohr's indeterminacy principle is itself a quantitative statement of complementarity!«²⁰⁰

Zugleich soll Barads Begriff der Unbestimmtheitsrelation aber ebenso die fundamentalen *Differenzen* zwischen den Konzepten Bohrs und Heisenbergs markieren: »I offer this identification – >Bohr's indeterminacy principle< – by way of clarification in marking the crucial differences between Bohr's and Heisenberg's positions.«²⁰¹ Denn trotz der formalen Übereinstimmung gehen die beiden quantitativen Ausdrücke Bohrs und Heisenbergs in ihren Bedeutungen grundlegend auseinander: »Although these relations have the same formal appearance, they do not have the same meaning (i.e., the symbols have different meanings), and therefore they are not the same relations.«²⁰² Der Begriff der Unbestimmtheitsrelation dient Barad daher auch als eine Markierung, die die Kluft zwischen Heisenbergs und Bohrs Analyse erst wieder so weit greifbar machen soll, dass eine Auseinandersetzung mit den Überlegungen Bohrs auf eine unvoreingenommenere und das heißt von den Implikationen der weitaus wirkmächtigeren Analyse Heisenbergs unbeinflusstere Weise stattfinden kann. Oder, noch einmal in den Worten Barads:

[...] I also note Bohr's disagreement with Heisenberg's interpretation of the mathematical expression that is known as the uncertainty principle and propose that Bohr's alternative interpretation be understood as a principle in its own right, which I label the >indeterminacy principle.<²⁰³

Es lässt sich also festhalten, dass es sich bei Bohrs Unbestimmtheitsrelation und Heisenbergs Unschärferelation um zwei formal übereinstimmende quantitative Ausdrücke handelt. Während Heisenbergs Unschärferelation interpretatorisch aber gleichsam für sich alleinstehend und vor allem funktionalistisch intendiert ist, speist sich Bohrs Unbestimmtheitsrelation aus den im Rahmen seines Komplementaritätsprinzips vollzogenen Überlegungen, die – wie es der von Barad für Bohrs Theorie geschaffene Terminus der *Philosophie-Physik* hervorheben soll – über die Ebene der rein quantitativen und instrumentellen Erfassung quantenphysikalischer Prozesse hinausgehen.

Ausgehend von dieser formal-begrifflichen Vorarbeit und der Einführung des Begriffs der Unbestimmtheitsrelation kann es nun auch auf inhaltlicher Seite vertieft um Bohrs Komplementaritätsprinzip und Unbestimmtheitsrelation gehen und um die bereits deutlicher gewordenen Differenzen, wie Barad sie zwischen den Konzepten Bohrs und Heisenbergs herausarbeitet. Wie sich zeigen wird, handelt es sich für Barad bei

¹⁹⁹ Ebd., S. 310.

²⁰⁰ Ebd. Ein Umstand, dessen Gewicht für Barad auch dadurch kenntlich wird, dass sie denselben an weiteren Stellen in *Meeting the Universe Halfway* hervorhebt, so auch auf S. 261, S. 300, S. 302 und S. 304.

²⁰¹ Ebd., S. 425 Fn. 34. Entsprechend findet bei Barad auch keine Vermischung der Termini Unschärferelation und Unbestimmtheitsrelation statt: Der Begriff der Unbestimmtheitsrelation bezieht sich stets auf Bohrs Analyse und der Begriff der Unschärferelation stets auf die Heisenbergs: »[...] I have tried to be careful in selecting the appropriate term – >indeterminacy< or >uncertainty< – throughout, and the reader is advised to note the important difference being marked.« (Ebd., S. 302)

²⁰² Ebd., S. 424 Fn. 29.

²⁰³ Ebd., S. 295.

der Analyse Bohrs – im Gegensatz zu Heisenbergs Untersuchung – eben nicht um ein lediglich epistemisches, sondern um ein mit Bohr zuallererst *semantisch*, mit Barad aber eben auch *ontisch* zu verstehendes Prinzip.

1.3.2.2 Bohrs semantisches Verständnis des Komplementaritätsprinzips

[C]oncepts are defined by the circumstances required for their measurement.²⁰⁴

Es gibt zahlreiche Passagen in den Arbeiten Barads, die es für sich genommen so erscheinen lassen, als beruhe der Unterschied zwischen Heisenbergs und Bohrs Analyse allein darin, dass Heisenberg lediglich ein epistemisches, Bohr aber eben ein ontisches Prinzip entwickle.²⁰⁵ Bohrs Philosophie-Physik aber – und damit womöglich auch Barads von Bohrs Überlegungen entsponnenen agentiellen Realismus – allein auf diese ontische Bedeutsamkeit zu reduzieren schlösse wesentliche Züge dieser Theorien aus. Denn trotz der genannten Passagen geht aus Barads Darstellungen der Theorie Bohrs unmissverständlich hervor, dass es sich bei dessen Komplementaritätsprinzip nicht nur um ein ontisches, sondern ebenso um ein *semantisches* Prinzip handelt.

204 Ebd., S. 109 und S. 196.

205 Dass Bohr bereits ein ontisches Prinzip entwickelt, suggeriert beispielsweise die folgende Stelle: »By contrast, Bohr's indeterminacy principle [...] is an ontic principle [...]« (ebd., S. 261); oder auch: »Complementarity is an ontic (not merely an epistemic) principle.« (Ebd., S. 309) Auch die folgende Aussage Barads zu ihrer Weiterentwicklung der Theorie Bohrs nimmt keinen Bezug auf die im Folgenden abgehandelte semantische Bedeutsamkeit Bohrs: »Using this analysis of Bohr's philosophy-physics as inspiration, I introduce agential realism as a framework that attends to both the epistemological and ontological issues.« (Ebd., S. 69) Vor allem aber ist es das einleitende Kapitel in *Meeting the Universe Halfway – The Science and Ethics of Mattering* (ebd., S. 3-38) – das eine falsche Fährte dahingehend legt, als sei nur die ontologische Bedeutsamkeit in Bohrs Arbeiten relevant: In diesem Kapitel wird durchwegs eine Gegenüberstellung von epistemologischen und ontologischen Aspekten als wesentlich für Barads Vorhaben verhandelt (vgl. beispielsweise ebd., S. 6, S. 18 und vor allem S. 31), während semantische Überlegungen keinerlei Erwähnung finden. Nicht zuletzt können auch Barads Begriffe »epistemological-ontological-ethical« (ebd., S. 26), »[o]nto-epistem-ology« bzw. »ethico-onto-epistem-ology« (ebd., S. 185), mit denen sie ihre Theorie des agentiellen Realismus an einigen Stellen kennzeichnet, zu der inkorrekteten Überzeugung beitragen, bei Bohr und vor allem bei Barad ginge es lediglich um die Differenz zwischen rein epistemologischen und (epistemisch-)ontologischen Analysen. Ähnliches findet sich auch in früheren Arbeiten Barads, wie in Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics«, wo Barad schreibt: »The uncertainty principle, as Heisenberg first formulated it, is an epistemic principle: it lays down the limits to what we can know; it is not an ontic principle« (ebd., S. 53) und auch: »[...] I proposed a post-Newtonian framework, inspired by Bohr's work on quantum theory, that shares epistemological and ontological concerns with contemporary feminist theories« (ebd., S. 67), während der Begriff *semantic* keine Verwendung findet. Ebenso verhält es sich mit Barad (1996): »Meeting the Universe Halfway«. Dies heißt jedoch nicht, dass die semantische Bedeutsamkeit der Überlegungen Bohrs erst später von Barad expliziert werden würde. Auch diese früheren Arbeiten stellen diese unter dem Begriff *conceptual* heraus (vgl. beispielsweise Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics«, S. 59 und Barad (1996): »Meeting the Universe Halfway«, S. 169 und S. 181). Das ändert jedoch nichts an dem Umstand, dass diese Passagen – neben vergleichbaren anderen, hier nicht angeführten – *für sich genommen* den irrgen Eindruck erwecken, es gehe bei Barad und vor allem bereits bei Bohr primär *nur* um ontische oder ontologische (und abgeleitet davon um epistemische oder epistemologische), aber nicht um semantische Schlussfolgerungen.

So kennzeichnet Bohr in einem im Jahr 1927 in Como gehaltenen Vortrag mit dem Titel ›The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory‹²⁰⁶ das grundsätzliche Versäumnis der Analyse Heisenbergs wie folgt:

The essence of this [Heisenberg's] consideration is the inevitability of the quantum postulate in the estimation of the possibilities of measurement. A closer investigation of the possibilities of definition would still seem necessary in order to bring out the general complementary character of the description.²⁰⁷

Um diese Feststellung Bohrs zu erhellen, ist es hilfreich, seine Kritik an Heisenbergs Analyse mit Barad durch die Ergänzung eines kleinen Seitenfadens fortzuspielen: So ist das, was Bohr in dieser Passage als *quantum postulate* bezeichnet, nichts anderes als die im Kontext des time-of-flight measurement in Kapitel 1.2 eingeführte fundamentale Diskretheit, symbolisiert durch die Planck Konstante h .²⁰⁸ Wie Bohr attestiert, beruht Heisenbergs Analyse zwar auf der Existenz dieser fundamentalen Diskretheit,²⁰⁹ sie bezieht aber die für Bohr ebenfalls entscheidende grundsätzliche *Unbestimbarkeit* der bei Messungen auftretenden Störungen inkorrekt erweise nicht mit ein.²¹⁰ Das bedeutet, Heisenbergs Gammastrahlenmikroskop referenziert lediglich darauf, dass die bei Messungen auftretenden Störungen nicht beliebig klein gemacht werden können, was dem ersten Argumentationsschritt der anhand des time-of-flight measurement in Kapitel 1.2 vollzogenen Überlegungen entspricht. Der zweite Argumentationsschritt der diesbezüglichen Überlegungen, nämlich die Feststellung, dass die bei Messungen auftretenden Störungen nicht aus den Messergebnissen herausgerechnet werden können, da ihre Größe grundsätzlich nicht bestimmbar ist, findet in Heisenbergs Analyse dagegen keine Beachtung:

Heisenberg's analysis stops just at the point where Bohr's begins: the existence of a disturbance is an important point; however, this fact alone does not exhaust the possibilities for determining the (alleged) preexisting properties of the particle because it may be possible to determine the effect of the measurement interaction and subtract its effect.²¹¹

²⁰⁶ Auch Barad zieht diesen Vortrag Bohrs, den jener am 16. September 1927 im Rahmen der *Volta Celebration* hält, zur Darstellung sowohl der Kritik Bohrs an Heisenbergs Unschärferelation als auch seines Komplementaritätsprinzips heran. Die hier wiedergegebenen Zitate stammen aus der mit wenigen Änderungen in *Nature* abgedruckten Version dieses Vortrags (Bohr (1928): ›The Quantum Postulate‹, vgl. zu Bohrs Verweis auf diese wenigen Änderungen ebd., S. 580 Fn. 1).

²⁰⁷ Ebd., S. 582-583. Vgl. auch die Wiedergabe der zitierten Stelle in Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 301.

²⁰⁸ So Bohr (1928): ›The Quantum Postulate‹, S. 580: »[T]he so-called quantum postulate, which attributes to any atomic process an essential discontinuity, or rather individuality, completely foreign to the classical theories and symbolised by Planck's quantum of action.« Barad beschreibt diesen Zusammenhang in Barad (1995): ›A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics‹, S. 50 wie folgt: »The quantum postulate is based on the empirical finding that there is a discontinuity in our interactions within nature.«

²⁰⁹ Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 117.

²¹⁰ Vgl. ebd.

²¹¹ Ebd. Vgl. dazu auch Bohr (1928): ›The Quantum Postulate‹, S. 583: »Indeed, a discontinuous change of energy and momentum during observation could not prevent us from ascribing accurate values

Damit ist das Versäumnis Heisenbergs, wie Bohr und Barad es attestieren, allerdings noch keineswegs ganz erfasst: Bis hierhin nämlich bezieht sich die diesbezügliche Kritik nach wie vor zentral auf den in Kapitel 1.2 als lediglich vorläufig gültig gekennzeichneten Begriff der Störung und trägt damit weiterhin den Annahmen der klassischen newtonschen Physik Rechnung, wie die in Kapitel 1.2 wiedergegebenen Ausführungen sie fundamental in Frage stellten. Die Implikationen, die Bohr mit dem analytischen Versäumnis Heisenbergs verbindet, gehen jedoch entscheidend über diese newton-sche Sichtweise auf das time-of-flight measurement und das Gammastrahlenmikroskop hinaus:

Bohr nämlich ist der Auffassung, Heisenbergs Unschärferelation sei zu eng und zu einseitig geführt, da es Letzterem auf Basis des *quantum postulates* ausschließlich um die *Möglichkeiten von Messungen*, nicht aber auch um die *Möglichkeiten der Definition der Begriffe*²¹² geht,²¹³ die bei jeder Beschreibung und Interpretation dieser Messungen und ihrer Ergebnisse zwingend zur Anwendung kommen müssen.²¹⁴ Anders als von

to the space-time co-ordinates, as well as to the momentum-energy components before and after the process.«

212 Die Wiedergabe von *concept* bzw. *notion* als *Begriff* oder *Konzept* ist in den Übersetzungen der Arbeiten Barads uneinheitlich: So verwendet bereits Barad selbst »concept« bzw. »notion« zum Teil austauschbar (beispielsweise Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 139), in diesem Fall von Jürgen Schröder vereinheitlichend übersetzt als »Begriff« (vgl. Barad (2012): *Agentieller Realismus*, S. 18). Astrid Wege in Barad (2012): *What Is the Measure of Nothingness?* übersetzt »concept« als Begriff und changiert bei »notion« zwischen Begriff und Konzept. Jennifer Sophia Theodor übersetzt »concept« mit »Konzept« (Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 86 und Barad (2013): ›Diffractionen‹, S. 50), »notion« ebenfalls mit »Konzept« (Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 71, S. 72, S. 72 [sic!], S. 74, S. 76, S. 83 und entsprechend Barad (2013): ›Diffractionen‹, S. 28, S. 28 [sic!], S. 29, S. 32, S. 35, S. 46), aber »notion« ebenso als »Begriff« (Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 91 und Barad (2013): ›Diffractionen‹, S. 58). Auch Theodors Übersetzung von Barad (2012): ›Nature's Queer Performativity‹ gibt »concept« (S. 42) als »Konzept« wieder (Barad (2015): ›Die queere Performativität der Natur‹, S. 152) und »notion« (S. 28) ebenfalls als »Konzept« (S. 121) und denselben Begriff »notion« (S. 32) ebenso als »Begriff« (S. 131). Karl Hoffmann übersetzt »[c]onceptually« und »conceptual« (Barad (2015): ›On Touching (v1.1) (Preprint)‹, S. 6) als »konzeptuel-ler« und »konzeptuelle« (Barad (2014): ›Berühren‹, S. 170), »notion« und »notions« (Barad (2015): ›On Touching (v1.1) (Preprint)‹, S. 5, S. 8 und S. 10) als »Vorstellung« und »Vorstellungen« (Barad (2014): ›Berühren‹, S. 169, S. 172 und S. 176; zu dem Umstand, dass der vorletztgenannte Text den bibliografischen Angaben zufolge *nach* seiner deutschen Übersetzung erschienen ist, vgl. die Vor bemerkung Barads in ebd., S. 163). Eine einheitliche Unterscheidung zwischen *Begriff* und *Konzept* findet sich also in den deutschsprachigen Übersetzungen nicht, so dass beide Begriffe plausibel scheinen. Nur aus Gründen der Einheitlichkeit fällt die Wahl in dieser Arbeit im hier gegebenen Kontext auf die Bevorzugung des Terminus *Begriff*.

213 Vgl. Bohr (1928): ›The Quantum Postulate‹, S. 582-583.

214 Letzteres schreibt Bohr selbst: »[I]n interpreting observations use has always to be made of theoretical notions«. Wie Bohr erläutert, hängt die Möglichkeit der Definition von Begriffen und die Möglichkeit der Beschreibung physikalischer Vorgänge in der klassischen Physik damit zusammen, dass diese beobachtet werden können, ohne dass ihr Zustand gestört oder verändert würde – ein Umstand, der bereits im Rahmen der Auseinandersetzung mit dem time-of-flight measurment in Kapitel 1.2 dargestellt wurde. In Bohrs Worten: »Indeed, our usual description of physical phenomena is based entirely on the idea that the phenomena concerned may be observed without disturbing them appreciably.« (Ebd., S. 580).

Heisenberg angenommen, spielt Komplementarität nicht erst bei konkreten Messungen eine Rolle, sondern bereits auf der *semantisch-begrifflichen* Ebene – so Bohr: »[T]he complementary nature of the description appearing in this [Heisenberg's] uncertainty is unavoidable already in an analysis of the most elementary concepts employed in interpreting experience.«²¹⁵ So folgt aus Bohrs Überlegungen, in den Worten Barads,

that theoretical concepts – like position, momentum, space, time, energy, causality, observation, and particle and wave – that classical physics takes for granted need to be properly understood as idealizations or abstractions; in the absence of appropriate experimental arrangements, concepts do not have determinate meanings.²¹⁶

Worum es Bohr Barad zufolge also geht, ist, dass Begriffe nicht länger – wie noch von der newtonschen Physik zentral angenommen – als *universal* gültig vorausgesetzt werden können.²¹⁷ Vielmehr sind bereits Begriffe – wie der Begriff der Welle oder der Begriff des Teilchens – in ihrer Bedeutung erst eindeutig bestimmt in Abhängigkeit vom physischen Arrangement des jeweils verwendeten Apparats und müssen in Abwesenheit eines solchen notwendigerweise unbestimmt bleiben: »So the only well-defined (*unambiguous*) concepts that one has available are the particular concepts embodied in the specific experimental arrangement. There are no others.«²¹⁸

Dieser Nachsatz Barads – *there are no others* – bedeutet allerdings nicht, dass Begriffe überhaupt nicht mehr in Absenz von sie verkörpernden Apparaten verwendet werden könnten.²¹⁹ Eine solche Verwendungsweise von Begriffen abseits von Apparaten ist sehr wohl möglich; sie bringt allerdings notwendigerweise mit sich, dass die Bedeutungen von derart verwendeten Begriffen – da diesen eben keine universale, inhärente Gültigkeit²²⁰ mehr unterstellt werden kann – in solchen Fällen notwendigerweise *unbestimmt*

²¹⁵ Ebd., S. 581. Entsprechend schreibt Barad über die im Rahmen des genannten Vortrags in Como explizierte Analyse Bohrs in Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 297: »In other words, Bohr is about to show that the complementary nature of descriptive terms that show up in the uncertainty relations of Heisenberg can already be accounted for by an analysis of the use of descriptive terms that reveals their reciprocal definability.«

²¹⁶ Ebd., S. 296. Die hier zitierte Passage aus Barads Texten ist in einem Punkt möglicherweise missverständlich: Dass – wie Barad hier schreibt – die theoretischen Begriffe der klassischen Physik als Idealisierungen oder Abstraktionen verstanden werden müssen, heißt nicht etwa, dass die von Bohr neugefassten Begriffe als Abstraktionen zu verstehen sind. Barads diesbezügliche Formulierung *properly understood as idealizations or abstractions* bezieht sich vielmehr darauf, wie die von der klassischen Physik verwendeten Begriffe auf Basis der Schlussfolgerungen Bohrs gefasst werden müssen: Sind solche Begriffe aus Sicht der newtonschen Physik stets und überall universal gültig, sind sie für Bohr in Abwesenheit von ihre Bedeutung bestimmenden Apparaten unbestimmt und lediglich Idealisierungen oder Abstraktionen.

²¹⁷ So spricht ebd., S. 107 wie auch S. 195 an jeweils prominenter Stelle und in Abgrenzung von diesem Begriffsverständnis der klassischen Physik von »abstract universal concepts that have determinate meanings independent of the specifics of the experimental practice«. Ebenso in Abgrenzung von dieser Annahme der klassischen Physik schreibt Barad (1996): »Meeting the Universe Halfway«, S. 169: »[C]oncepts are abstractable, universal, definite, and context-independent.«

²¹⁸ Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 329.

²¹⁹ *There are no others* bezieht sich in der zuvor zitierten Passage aus *Meeting the Universe Halfway* entsprechend auf *well-defined (unambiguous) concepts* und nicht auf Begriffe im Allgemeinen.

²²⁰ Vgl. noch einmal Barad (1996): »Meeting the Universe Halfway«, S. 169.

bleiben müssen und dann lediglich als Idealisierungen oder Abstraktionen Geltung verlangen können:²²¹

We may think we know what ›particle‹ and ›wave‹ mean through the habits of classical physics, but in the usual abstract sense these terms are only idealizations; objectively speaking, unambiguous meanings for these concepts derive from specific material arrangements, and since mutually exclusive experimental arrangements are required to define ›particle‹ and ›wave‹ behaviors, the theory is saved from potentially fatal inconsistencies.²²²

Entsprechend lässt sich die hier explizierte, sich von Heisenbergs Analyse abgrenzende Erkenntnis Bohrs, der zufolge Komplementarität bereits auf der *semantisch-begrifflichen* Ebene zum Tragen kommt, mit Barad als Dreh- und Angelpunkt der Erwiderung Bohrs auf die durch den Welle-Teilchen-Dualismus aufgeworfenen, drängenden Widersprüche und den in Kapitel 1.1 umrissenen Einwand Einsteins verstehen: So ist es laut Bohrs Schlussfolgerungen auch in Einsteins Version des Doppelspaltexperiments erst das spezifische Arrangement des zur Messung eingesetzten physischen Apparats – nämlich mit oder ohne Einbezug des Detektors, d.h. mit oder ohne bewegliche Teile –, das die für die Beschreibung des Experiments und seiner Ergebnisse notwendigen Begriffe mit bestimmten Bedeutungen versieht. Wird also im Doppelspaltexperiment ein Apparat mit Detektor zur Messung verwendet, so ist die Bedeutung des Begriffs des Teilchens zwar bestimmt – zugleich aber muss die Bedeutung des komplementären Begriffs der Welle notwendigerweise unbestimmt bleiben und dieser Begriff steht lediglich als Abstraktion bzw. Idealisierung zur Verfügung. In Barads allgemeinerer Formulierung:

Jede spezifische experimentelle Anordnung, die einem spezifischen Konzept (z.B. ›Ort‹) eine bestimmte Bedeutung verleiht, wird notwendigerweise immer ihren konstitutiven Ausschluss produzieren (z.B. ›Impuls‹), d.h. ein gleichermaßen notwendiges *komplementäres Konzept*, das so außerhalb des Bereichs des Intelligiblen verbleibt.²²³

Somit ist es laut Barad bereits auf der semantisch-begrifflichen Ebene unmöglich, den Einwand Einsteins, im Doppelspaltexperiment mit Detektor würden Wellen- und Teilchencharakter zugleich beobachtbar, zu konstruieren, denn: »Bohr argued that if we are clear about what we mean by the notions of ›wave‹ and ›particle‹, it would be impossible to find electrons behaving like particles and waves simultaneously.«²²⁴

²²¹ Vgl. hierzu auch die Ausführungen zu den *klassischen Begriffen* in Fußnote 298 in Kapitel 1.4.2.

²²² Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 296.

²²³ Barad (2015): ›Quantenverschränkungen und hantologische Erbschaftsbeziehungen‹, S. 91.

²²⁴ Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 106. Vgl. dazu auch ebd., S. 300: »And what is at issue for Bohr is clearly the ›sharpness of definition‹ of concepts (like ›position‹), which within our classical worldview we have previously taken for granted to have well-defined meanings independently of any experimental context, but from the perspective of quantum physics must be understood as semantically determinate only for a given experimental arrangement.«

Auf Basis dieser Ausführungen lässt sich zudem deutlich machen,²²⁵ inwiefern die Sprache der klassischen Physik unzureichend sein musste, um die Implikationen des time-of-flight measurement in Kapitel 1.2 zu erfassen: So ist für Bohrs Schlussfolgerung in Bezug auf die *semantische* Frage nach der *Bestimmtheit der Bedeutung von Begriffen* – im Unterschied zu Heisenbergs Gammastrahlenmikroskop, aber eben auch im Unterschied zu den zurückliegenden Ausführungen zum time-of-flight measurement – ein Bezug auf die bei Messungen auftretenden *Störungen* überhaupt nicht notwendig: »That is, no consideration of any alleged disturbance is required; all that is needed is a thoroughgoing analysis of the use of physical concepts employed in interpreting the results of measurements.«²²⁶ Da Heisenbergs Untersuchung aber ausschließlich auf die bei Messprozessen auftretenden Störungen eingeht und darüber hinaus nur auf die Frage abhebt, ob diese Störungen *beliebig klein* und damit vernachlässigbar gemacht werden können – nicht aber auch auf die Frage, ob diese Störungen denn grundsätzlich *bestimmbar* sind oder nicht –,²²⁷ kann Heisenberg die Befunde Bohrs selbst nicht produzieren: Gerade der in Kapitel 1.2.3 umrissene bohrsche Schnitt muss zwingend außerhalb seiner argumentativen Reichweite bleiben, womit sich die Weite der philosophisch-physikalischen Überlegungen Bohrs bei Heisenberg auf rein instrumentale, erkenntnistheoretische Fragen und Schlussfolgerungen verengt sieht.

Damit wird auch nachvollziehbarer, inwiefern Bohrs Analyse *topoi* verhandelt, wie sie das von Barad verliehene Etikett des Philosophischen als durchaus zutreffend kennzeichnen. Dieser über rein physikalische Erwägungen hinausgehende, philosophische Zug der Theorie Bohrs scheint allerdings zugleich zu den Gründen zu zählen, warum die Überlegungen Bohrs sich zunehmend als unannehmbar für eine sich auf instrumentelle Fragen zurückziehende physikalische Gemeinschaft erwiesen haben,²²⁸ während sich Heisenbergs Unschärferelation – unbeschwert vom Ballast solcher philosophisch-interpretatorischen Fragen – allgemein durchsetzen und Bohrs umfassende Abkehr von den Annahmen der klassischen Physik aus der Wahrnehmung der Forscher*innen verdrängen konnte.²²⁹

Wie besonders der dritte Abschnitt dieser Arbeit zeigen wird, nimmt Barad die in diesem Kapitel 1.3.3.2 umrissenen semantischen Überlegungen Bohrs in ihre Konzeption des agentiellen Realismus auf und weitet sie im Rahmen ihrer Umarbeitung derselben radikal aus. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass mit der bis hierhin aufgearbeiteten semantischen Bedeutsamkeit der Philosophie-Physik Bohrs in Barads

²²⁵ Weitere Verdeutlichung wird dieser Punkt am Ende dieses Kapitels 1.3 erfahren, wenn es abschließend um eine deskriptive Vorzeichnung des baradschen ontologischen Verständnisses der Philosophie-Physik Bohrs gehen wird.

²²⁶ Ebd., S. 297.

²²⁷ Vgl. hierzu Kapitel 1.2.1 und 1.2.2.

²²⁸ Vgl. zur Marginalisierung Bohrs in der Physik Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics«, S. 64-65.

²²⁹ Vgl. hierzu ebd., S. 65: »The fact is that many physicists continue to use phrases that imply that properties are observer-independent attributes of objects – even in texts on quantum mechanics. The continued unqualified use of Newtonian language makes the quantum world ›oh so bizarre,‹ but the message transmitted is that the mathematical formalism produces experimentally verified results, so don't despair.«

Verständnis nur deren eine Seite erfasst worden ist, denn Barad zufolge muss diese Theorie Bohrs ebenso als ontologisch aufgefasst werden.

1.3.2.3 Barads ontologisches Verständnis des Komplementaritätsprinzips

Complementarity is an ontic (not merely an epistemic) principle.²³⁰

Wie das vorhergehende Kapitel 1.3.2.2 gleich zu Beginn vorbrachte, streicht Barad das Komplementaritätsprinzip Bohrs eindeutig als ein *ontisches* heraus. Daher mag es durchaus überraschen, dass sich in Bohrs Arbeiten – auch Barad zufolge – keinerlei Hinweis darauf findet, dass seine Philosophie-Physik in diesem Sinne ontisch oder ontologisch zu verstehen sein soll.²³¹ Bohr geht es ausschließlich darum, dass es sich bei Komplementaritätsprinzip und Unbestimmtheitsrelation, wie zuvor umrissten, um *semantische* Prinzipien handelt, womit er – und das mag die Überraschung gar noch vergrößern – ebenso wie Heisenberg in *rein epistemologischen* Fahrwassern verbleibt.²³²

Dass Barad ihr ontologisches Verständnis der bohrschen Theorie dennoch nur sporadisch als ontologisierende und entsprechend tiefgreifende Umarbeitung bzw. Erweiterung derselben markiert und die Überlegungen und Schlussfolgerungen Bohrs immer wieder in einer Weise adressiert, als hätte Bohr diese bereits selbst ontologisch impliziert, findet in den baradschen Arbeiten eine gewisse Rechtfertigung darin, dass Barads ontologisches Verständnis der Philosophie-Physik Bohrs lediglich die Kenntlichmachung von bei Bohr implizit bereits vorhandenen ontologischen Implikationen sein soll.²³³ In den Worten Barads: »Bohr's writings on complementarity focus on the inherent semantic indeterminacy and the profound epistemological implications [...], but I propose that it is not a stretch to understand the indeterminacies to be at once semantic *and* ontic (not merely epistemic).«²³⁴

Dennoch ist Barad sehr deutlich darin, dass dieses von ihr vorgebrachte ontologische Verständnis der Überlegungen Bohrs nicht so begriffen werden darf, als fördere es bisher verborgene Gedanken oder Absichten Bohrs zu Tage.²³⁵ Vielmehr geht es Barad darum, Bohrs Streben nach Konsistenz aufzunehmen und fortzuführen. Ihrer Auffassung nach nämlich würde Bohrs Philosophie-Physik und damit auch dessen Er-

²³⁰ Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 309. Damit hebt sich Bohrs Komplementaritätsprinzip auch von Erwin Schrödingers von Barad ebenfalls als epistemologisch gekennzeichnetem Konzept der Quantenverschränkung ab (vgl. ebd.).

²³¹ Vgl. ebd., S. 127.

²³² So beispielsweise ebd., S. 31: »Bohr's philosophy-physics contains important and far-reaching ontological implications, but unfortunately he stays singularly focused on the epistemological issues and does not make this contribution explicit or explicate his views on the nature of reality.« Und noch in Barad (2010): »Quantum Entanglements and Hauntological Relations of Inheritance«, S. 252 schreibt Barad: »Desperate to make sense of all this, Bohr makes one of the strangest moves in the history of physics: he turns his attention to the question of ... language!«

²³³ Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 31, S. 69, S. 333, S. 352 und – zumindest indirekt – auch S. 308.

²³⁴ Ebd., S. 127.

²³⁵ Vgl. ebd., S. 69.

widerung auf Einstein ohne expliziten Einbezug dieser ontologischen Implikationen – Bohrs eigenen Bemühungen zum Trotz – am Ende doch inkonsistent bleiben:²³⁶

[...] Bohr is not specific about his ontological commitments. To fill this crucial gap, I propose an ontology that I believe to be consistent with Bohr's views [...]. That is, my primary goal is to develop a coherent framework. I try to make sense of the ontological issues on the basis of what Bohr tells us, but I am less interested in trying to figure out what Bohr was ›actually‹ thinking than what makes sense for developing a coherent account.²³⁷

Wieso Barad die Auffassung vertritt, dass Bohrs Philosophie-Physik ohne den Einbezug der impliziten ontologischen Implikationen inkonsistent bleiben müsse, wird erst zum Abschluss dieses ersten Abschnitts in Kapitel 1.5 deutlicher werden und auch darüber hinaus einen der Fäden bilden, wie sie sich durch die noch folgenden Überlegungen in dieser Arbeit ziehen.²³⁸ Für die in diesem Kapitel 1.3 adressierten Zusammenhänge ist erst einmal nur wesentlich, dass Barad das Komplementaritätsprinzip, die Unbestimmtheitsrelation und damit die bohrsche Philosophie-Physik als solche als von *ontologischer* Bedeutsamkeit begreift.²³⁹ Das heißt, Heisenbergs epistemische Unschärferelation adressiert zwar durchaus einen richtigen Punkt, wenn sie feststellt, dass Beobachter*innen nicht zugleich definite Kenntnis über komplementäre Eigenschaften wie Position und Impuls erhalten können.²⁴⁰ Für Barad aber steht bedeutend mehr auf dem Spiel, nämlich die ontische Frage, ob es diese Eigenschaften unabhängig von Messungen überhaupt in bestimmter Form *gibt*. Wie sie ausführt, geht ihrem Verständnis nach aus den Überlegungen der Philosophie-Physik Bohrs hervor, dass – äquivalent zu den komplementären Begriffen in Bohrs semantischem Verständnis des Komplementaritätsprinzips – nur diejenige Eigenschaft am gemessenen Objekt *bestimmt existiert*, für die der entsprechende materielle Experimentalapparat zur Messung gebracht wird. Die andere, komplementäre Eigenschaft aber, zu deren Messung derselbe Messapparat

²³⁶ Vgl. ebd., S. 31.

²³⁷ Ebd., S. 69. Hierfür zieht Barad in *Meeting the Universe Halfway* sowohl das hier genannte »coherent« (beispielsweise S. 37, S. 122 und S. 195), als auch »consistent« (beispielsweise S. 31, S. 69, S. 121, S. 123, S. 126 und S. 205) heran. Barad verwendet diese Begriffe in dem hier gegebenen Kontext als synonym, und entsprechend verwende ich deren deutschsprachige Pendants *kohärent* und *konsistent* in diesem Kontext ebenfalls als Synonyme.

²³⁸ Vgl. besonders das Kapitel 3.1.8 zu Barads agentiell-realistischer Neufundierung von Objektivität.

²³⁹ So schreibt Barad in Bezug auf Bohrs Unbestimmtheitsrelation in ebd., S. 118: »Bohr's indeterminacy principle can be stated as follows: *the values of complementary variables (such as position and momentum) are not simultaneously determinate*. The issue is not one of unknowability per se; rather, it is a question of what can be said to simultaneously exist.«

²⁴⁰ Es klang bereits an, dass Heisenbergs Unschärferelation der die für die heutige Physik kennzeichnenden instrumentalistischen Haltung gegenüber den physikalischen Phänomenen der Quantenphysik entspricht, die sich, solange die Ergebnisse der getätigten Kalkulationen mit den empirisch gemessenen Daten übereinstimmen, kaum Gedanken über interpretatorische Fragen macht: »Some antirealists, including [...] Werner Heisenberg, adopted an instrumentalist stance toward the perplexing fact that light and matter exhibit both wave and particle behaviors, resting contentedly with their resolve that the key factor is a working mathematical structure, not a solid conceptual foundation.« (Ebd., S. 123)

nicht die entsprechenden Spezifika mitbringt, erscheint nicht nur unscharf, sondern ist überhaupt nicht bestimmt:²⁴¹ »[T]his information is not just unknown; it is *ontologically indeterminate*.«²⁴²

Für das Doppelspalterperiment aus Kapitel 1.1 bedeutet dies, dass die jeweils beobachteten Objekte in Abhängigkeit von den materiellen Spezifika des zur Messung eingesetzten Experimentalaufbaus entweder Wellen oder Teilchen sind: Bei Einbezug von Einsteins Detektor in den Experimentalaufbau, mittels dessen die gemessenen Objekte als Teilchen gemessen werden sollen, kommen an diesen Objekten also die Eigenschaften von Teilchen bestimmt zur Existenz, während die dazu komplementären Welleneigenschaften von einer bestimmten Existenz ausgeschlossen werden. Auch für das Beispiel des blühenden Baums aus Kapitel 1.3.1 würde dies bedeuten, dass es hier nicht länger um eine durch die fehlende Sehhilfe hervorgerufene Unschärfe *in der Wahrnehmung* des Baums²⁴³ geht. Stattdessen gilt, dass die Wahl des Apparats nicht nur Folgen für die Wahrnehmung des Baums hat, sondern für die Eigenschaften des Baums selbst. Dieser Schluss mag, derart auf ein Objekt aus der Alltagswelt angewandt, kontraintuitiv erscheinen – er exemplifiziert aber gerade deshalb bereits eine der wesentlichen Schlussfolgerungen des agentiellen Realismus, wie sie im dritten Abschnitt ausgearbeitet werden.

In einem solchen ontischen Verständnis der Philosophie-Physik Bohrs aber kann es nun – noch weniger als im rein semantischen Verständnis Bohrs – nicht länger um die von Heisenberg bei der Analyse seines Gammastrahlenmikroskops zentral herangezogene Störung und die damit verbundene Perspektive der klassischen Physik gehen: Wenn die Eigenschaften von gemessenen Objekten nämlich erst im Moment ihrer Messung bestimmt sind, wenn sie also vor der Messung überhaupt nicht bestimmt existieren, wie könnte dann die Rede davon sein, dass diese Eigenschaften durch die Messung gestört würden?²⁴⁴ Oder wie Barad schreibt: »[T]he point is not that measurements disturb preexisting values of inherent properties but that properties are only determinate given the existence of particular material arrangements that give definition to the corresponding concept in question.«²⁴⁵ Heisenbergs Fokussierung auf die Störung entspricht also einem Festhalten an der klassisch-physikalischen Idee von im Voraus und unabhängig von Messungen gegebenen Objekten: Für Heisenberg sollen solche Objekte trotz der quantenphysikalischen Befunde ganz im Sinne der newtonschen Physik weiterhin über individuell bestimmte Eigenschaften und Grenzen verfügen. Diese Eigenschaften und Grenzen können nur wegen der Limitierungen der messenden Apparate – da diese eben zwangsläufig Störungen hervorrufen – nicht scharf erkannt werden. Barads ontologisches Verständnis der Philosophie-Physik Bohrs dagegen wirft grundlegendere Fragen auf nach der *Realität* von Objekten, ihren Eigenschaften und Grenzen und deren Abhängigkeit von den diese erst bestimmt produzierenden Messungen.

²⁴¹ Vgl. ebd., S. 261.

²⁴² Ebd., S. 268.

²⁴³ Hier wie im folgenden Satz zu verstehen als *genitivus obiectivus*.

²⁴⁴ Vgl. ebd., S. 261.

²⁴⁵ Ebd.

Barad ersetzt im Zuge ihrer ontologisierenden Umarbeitung der Philosophie-Physik Bohrs allerdings nicht das semantische bzw. epistemische Verständnis Bohrs durch ein ontisches, sondern sie setzt die beiden in Kapitel 1.3.2.2 und hier in 1.3.2.3 skizzierten Stränge zu einem *ontisch-semanticischen Verständnis der Überlegungen Bohrs* zusammen,²⁴⁶ in welchem Bohrs semantische Erkenntnis bezüglich der Konstitution der Bestimmtheit der Bedeutungen von *Begriffen* durch Apparate durch den ontologischen Befund in die Konstitution der Bestimmtheit von *Eigenschaften* durch dieselben Apparate komplementiert wird.²⁴⁷ Dies hält Barad allerdings eben nicht davon ab, auch dieses ontisch-semanticische Verständnis in zahlreichen Passagen bereits Bohr selbst zuzuschreiben, beispielsweise wenn sie feststellt:

Bohr rejects Heisenberg's suggestion that what is at issue is a *disturbance* created in the act of measurement and that this alleged *disturbance* limits our *knowledge* of presumably (always already) well-defined variables or attributes of the object being measured. Instead, Bohr insists that what is at issue are the *very possibilities for definition of the concepts and the determinateness of the properties and boundaries of the object*, which depend on the specific nature of the experimental arrangement. That is, Bohr offers an *ontic-semantic interpretation* of the reciprocity relations, in contrast to Heisenberg's (admittedly incorrect) *epistemic interpretation*.²⁴⁸

Strenggenommen aber handelt es sich bei Barads ontischem Verständnis der Philosophie-Physik Bohrs um eine fundamentale Ausweitung der von Bohr explizit gemachten semantisch-begrifflichen Schlussfolgerungen. Auch wenn erst die im dritten Abschnitt dieser Arbeit vollzogene Auseinandersetzung mit dem agentiellen Realismus eine differenziertere Adressierung dieser Fäden der Philosophie-Physik Bohrs in Barads Verständnis möglich machen wird,²⁴⁹ sollen die Überlegungen Bohrs – wie auch einige der instruktiven Differenzen derselben zu denen Barads – im folgenden Kapitel 1.4 weiter herausgearbeitet werden.²⁵⁰ Insbesondere wird dieses Kapitel 1.4 die von Barad zu Bohrs Überlegungen gesponnenen, in ihrem Charakter changierenden Verflechtungen insofern fassbarer machen, als dass die zwei Pole des baradschen Verständnisses der Philosophie-Physik Bohrs vorgezeichnet werden, zwischen denen diese Verflechtungen wechseln.

²⁴⁶ So schreibt Barad von »ontic-semantic« in ebd., S. 127, S. 143, S. 148, S. 310 und S. 335, sowie von »semantic-ontic« in ebd., S. 120 und S. 400.

²⁴⁷ Entsprechend findet sich auch in Barad (2011): »Erasers and Erasures«, S. 450: »The turn to ontology does not turn away from epistemology [...].«

²⁴⁸ Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 301-302. Vgl. dazu ebenso die weitestgehend synonyme Zusammenfassung in ebd., S. 294-295.

²⁴⁹ Vgl. besonders das Kapitel 3.1.6.2 und den dort vollzogenen Rückgriff auf Bohrs Philosophie-Physik in Barads Verständnis.

²⁵⁰ In diesen beiden Kapiteln 1.4 und 1.5 werden auch erst die Gründe für Barads ontologische Erweiterung der Überlegungen Bohrs, die in diesem ersten Abschnitt bisher weitestgehend deskriptiv thematisiert wurde, entfaltet.