

in dem Sinne aus, dass sie niemals mittels ein und desselben Apparats genau bestimmt werden können. Entsprechend ist es laut Bohr unmöglich, dass das von Einstein behauptete Doppelverhalten von Elektronen als Welle *und* Teilchen eintritt, denn der Einbau des beweglichen Detektors würde zwangsläufig verhindern, dass die gemessenen Objekte sich weiter als Wellen verhielten, womit sich anstatt des Diffraktionsmusters ein für Teilchen charakteristisches Treffermuster auf dem Schirm hinter dem Doppelspaltgitter ergeben würde – *problem solved.*⁷³

Wie diese Ausführungen also nahelegen, genügt der Einwand Einsteins nicht, um die bohrschen Bemühungen um eine konsistente, quantenphysikalische Theorie und dessen Erklärung der widersprüchlichen experimentellen Ergebnisse aus den Angeln zu heben. Wie diese allerdings ebenso implizieren, setzt Bohrs auf dessen Verständnis von Komplementarität beruhende Antwort voraus, dass die zuvor genannte, grundlegende und intuitiv nachvollziehbare Annahme der klassischen Physik, dass alle physikalischen Objekte entweder der Kategorie Teilchen oder der Kategorie Wellen zugehören, aufgegeben werden muss. Auf welche Weise es Bohr gelingt, das Aufgeben dieser grundlegenden newtonschen Prämisse theoretisch einzufangen und welche weitreichenden und radikalen Folgen dies in seinen, vor allem aber in Barads Verständnis hat, zählt zu den wesentlichen Fäden, wie sie in den folgenden Kapiteln zu Bohrs Philosophie-Physik in Barads Verständnis fortgeführt und vertieft auf- und umgearbeitet werden.

1.2 Das time-of-flight measurement

In summary, the time of flight measurement is a sound method for determining the initial conditions only from the perspective of classical physics. The reason is that classical physics is premised on the assumption that observation interactions are continuous and determinable. Quantum physics is based on the fact that interactions are discontinuous and indeterminable. Therefore, it is not possible to determine the initial conditions using time of flight measurements, or any other method for that matter.⁷⁴

Um die in Kapitel 1.1 angesponnenen Überlegungen fortzuführen, wird es im Folgenden um das zweite, in *Meeting the Universe Halfway* ebenso zentral verhandelte Experiment neben dem Doppelspalteinperiment gehen, mittels dessen Barad in die für den agenziellen Realismus relevanten quantenphysikalischen Erkenntnisse und Implikationen einführt, nämlich das *time-of-flight measurement*.⁷⁵

Bei der von Barad in *Meeting the Universe Halfway* herangezogenen Variante dieses time-of-flight measurement handelt es sich zwar – ganz wie im Fall des Doppelspalt-experiments in der Debatte zwischen Einstein und Bohr – um ein Gedankenexperi-

73 Die hier nur vorläufig und lose umrissene Argumentation Bohrs wird insbesondere in Kapitel 1.3.2.2 weiter entfaltet werden.

74 Barad (1995): >A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics<, S. 52.

75 Nicht zuletzt kommt dieses Beispiel bereits in dem frühen Artikel Barad (1995): >A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics< und zwar auf S. 47-52 zum Tragen. Barads spätere Beschreibung des time-of-flight measurement in *Meeting the Universe Halfway* folgt dann stärker der Fassung aus Barad (1996): >Meeting the Universe Halfway<, S. 169-171.

ment.⁷⁶ Grundsätzlich aber ist das time-of-flight measurement – im Deutschen als Laufzeitmessung⁷⁷ bezeichnet – eine praktische und gängige Methode, um Position und Impuls von sich bewegenden Objekten zu messen: »According to this technique, the simultaneous position and momentum values of an object can be determined by bouncing electromagnetic radiation (or light) off the object and detecting it with a detector.⁷⁸ So kann beispielsweise eine Laserpistole zur Geschwindigkeitsmessung, wie sie bei Verkehrskontrollen eingesetzt wird, die Geschwindigkeit von fahrenden Automobilen erheben, indem mehrere, zeitlich versetzte Messungen der Position des Objekts vorgenommen werden.⁷⁹

Vorauszuschicken ist dabei, dass Barad in *Meeting the Universe Halfway* eine reduzierte Variante eines solchen time-of-flight measurement heranzieht, in dem Sinne, dass es ihr nur um die Messung der *Position* des in Frage stehenden Objekts geht, so dass in diesem Fall nur eine einzelne Messung adressiert werden muss und nicht deren mehrere.⁸⁰ Außerdem verwendet Barad, obwohl es ihr nicht um die Messung der Position

76 Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 107–115.

77 Ich bleibe in den folgenden Kapiteln bei der englischen Bezeichnung time-of-flight measurement, da die physikalischen Curricula auch im deutschsprachigen Raum ebenso verfahren und nicht das deutsche Pendant Laufzeitmessung verwenden.

78 Ebd., S. 107.

79 Vgl. ebd. Barad beschreibt dies in Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics, S. 48 so: »[T]he ‘time of flight’ technique. The strategy involved is to measure the object’s position at two closely separated moments in time and then calculate the momentum from the measurements of the object’s successive positions. [...] The measurement is performed by taking two pictures closely separated in time. From this information, the velocity can be calculated by finding out how far the object has moved in a given amount of time. The momentum is then obtained by multiplying the velocity of the object by the value of its mass.« Da bei Laserpistolen für die Zwecke der Verkehrsüberwachung die Entfernung zum gemessenen Automobil keine Rolle spielt, sondern nur dessen Geschwindigkeit relevant ist, weicht das hierfür umgesetzte Verfahren allerdings von dem bei Barad angegebenen ab: »Die eigentliche Geschwindigkeitsberechnung, die die Laser-Handmessgeräte vornehmen, besteht nicht aus der Anwendung der Formel ‘Strecke geteilt durch Zeit’, vielmehr wird aus der Änderung der Laufzeit der aufeinanderfolgenden Impulse, die sich in Lichtgeschwindigkeit bewegen, der Betrag und die Richtung der Geschwindigkeit des Fahrzeuges bestimmt. Die Entfernung des Ziels wird so nicht benötigt.« (Wartner (1999): »Rechtsprechungsübersicht zur Geschwindigkeitsmessung mit Lasermessgeräten«, S. 8) Diese Differenz zwischen praktischen Umsetzungen und Barads Darstellungen verdeutlicht bereits, dass es Barad nicht um die minutiöse Versammlung aller etwa mit dem time-of-flight measurement verflochtenen historischen und empirisch vorhandenen Entwicklungen geht, sondern um die Herausarbeitung der für die Darstellung des agentiellen Realismus notwendigen physikalischen *Prinzipien* – und der dritte Abschnitt dieser Arbeit wird diesen Befund weiter konkretisieren und produktiv machen. Vgl. hierzu auch die Entwicklung des time-of-flight measurement als Beispiel in den Arbeiten Barads in der direkt folgenden Fußnote 80.

80 Diese *Reduktion* des Beispiels des time-of-flight measurement ist Ergebnis einer sich über mehrere Schriften Barads erstreckenden Entwicklung: So geht Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics« noch auf die *zwei* Messungen ein, die mindestens notwendig sind, damit ein time-of-flight measurement im eigentlichen Sinne stattfinden kann, während in den beiden mit *Meeting the Universe Halfway* betitelten Schriften (Barad (1996): *Meeting the Universe Halfway* und Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*) nur noch von *einer* Messung die Rede ist. Die Darstellung des time-of-flight measurement in Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics« zeigt sich insgesamt als detailreicher; hier wird beispielsweise noch eine

eines Automobils gehen wird, sondern um die eines einzelnen Elementarteilchens – und es sich daher bei ihrem Gedankenexperiment um ein *quantenphysikalisches* Experiment handelt –, bewusst das Vokabular der *klassischen* Mechanik, da so ihrer Aussage nach deutlicher wird, wo und inwiefern sich die Grundannahmen der newtonschen Physik gerade in Bezug auf den Begriff der Messung als unzureichend herausstellen.⁸¹ Bevor dieses Kapitel sich also Barads Variante des time-of-flight measurement widmen und sich derart näher an die Philosophie-Physik Bohrs in Barads Verständnis und den agentiellen Realismus herantasten kann, ist eine kurze Aufarbeitung dessen notwendig, was Barad zufolge unter dem Begriff der *Messung* in der klassischen Physik verstanden wird und welche Prämissen und Verheißenungen mit diesem newtonschen Verständnis des Messbegriffs einhergehen.

1.2.1 Verheißenungen und Prämissen des Messbegriffs der klassischen Physik

For Newton, physicist extraordinaire, inventor of the calculus, author of biblical prophecies, uniter of heaven and earth, continuity was everything, or very nearly. It gave him the calculus. And the calculus gave voice to his vision of a deterministic world: placing knowledge of the future and past at Man's feet. Prediction and retrodiction are Man's for the asking, the price is but a slim investment in what is happening in an instant, any instant. [...] Man's reward: a God's eye view of the universe, the universal viewpoint, the escape from perspective, with all the rights and privileges accorded therein. Vision that goes right to the heart of matter, unmediated sight, knowledge without end, without responsibility.⁸²

Uhr mit in den Experimentalaufbau einbezogen, eine Maßnahme, die der Begriff *time-of-flight* measurement auch in späteren Texten eigentlich noch erwarten lassen würde, wäre diese nicht für Barads Argumentation unerheblich. Diese Reduktion des *time-of-flight* measurement über verschiedene Texte hinweg bringt es jedoch mit sich, dass der terminologische Status dieses Beispiels in Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway* etwas verschwimmt: Zwar bezeichnet Barad das dort vorgestellte Gedankenexperiment im Text *vor* (ebd., S. 107 und S. 108) und *nach* dessen Darstellung als *time-of-flight* measurement – so schreibt sie vom »*time-of-flight example discussed in the previous section*« (ebd., S. 115). Im Zuge der Auseinandersetzung mit diesem Verfahren und den damit verbundenen Implikationen (ebd., S. 110–114) bezeichnet sie dieses aber als ein »*measurement of the position of a particle*« (ebd., S. 109) oder als »*position measurement*« (ebd., S. 111), was das von ihr besprochene Beispiel – wie die folgenden Seiten zumindest implizit zeigen werden – auch treffender bezeichnet. Ich habe mich dennoch für die durchgehende Verwendung des Begriffs *time-of-flight* measurement entschieden, da dieser den von Barad implizierten Bezug auf die Grundannahmen der newtonschen Physik, was die Bedingungen und Möglichkeiten von Messungen betrifft – wie sie durch die Überlegungen zum *time-of-flight* measurement in Frage gestellt werden sollen – deutlicher herausstellt, als es der Verweis auf eine Messung der Position tätigt, einfach, weil so der irrgen Meinung weniger Vorschub geleistet wird, die hier vollzogenen Überlegungen gälten nur in Bezug auf Messungen von Positionen und nicht für Messungen im Allgemeinen. Vgl. dazu auch Fußnote 99 in diesem Kapitel 1.2.

- 81 Vgl. ebd., S. 111. Vgl. auch die als Motto des Kapitels 1.2.2 gegebene Passage aus den Arbeiten Barads.
- 82 Ebd., S. 233. Vgl. hierzu auch Barads ironisierende Darstellung der Figur des liberal-humanistischen Subjekts in der mit Fußnote 305 verknüpften Passage aus ihren Arbeiten in Kapitel 2.2.2.

Die Verheißenungen, wie klassische Physik und mit ihr assoziierte Programme sie mit sich bringen, könnten Barad zufolge größer kaum sein: Forschenden, die unter dem Schirm dieses newtonschen Paradigmas ihren Platz einnehmen, winkt das Versprechen, die Welt⁸³ unabhängig von ihrer spezifischen Position so zu erkennen, wie sie ist und damit die Möglichkeit, ausgehend von der Feststellung der momentanen Situation auch vergangene und zukünftige Zustände der Welt mit den rechnerischen Mitteln der Physik zu ihrer Kenntnis zu bringen. Damit rücken Kontrolle und Dienstbarmachung ebendieser Welt und ihrer Geschöpfe in greifbare Nähe, wird den newtonschen Forschenden doch der objektive Blick neutraler, einflussloser Beobachtung von nirgendwo und überall versprochen und damit eine bevorzugte Stellung innerhalb alles Seienden.⁸⁴

Allerdings hängt die Einlösung solcher Verheißenungen davon ab, ob sich die Eigenschaften von physikalischen Objekten in Messungen wie von der klassischen Physik angenommen exakt messen lassen. Nur auf Basis der genauen Kenntnis der momentanen Situation nämlich kann der Rechenapparat der newtonschen Physik seine ganze Kraft ausspielen, alle vergangenen und zukünftigen Zustände der Welt berechnen und volle, objektive Kenntnis der gleich einem Uhrwerk strikt deterministisch ablaufenden Welt – und damit eben auch die Kontrolle über dieselbe – gewährleisten.⁸⁵ Alles entscheidet sich also daran, ob die mit dem newtonschen Begriff von *Messung* und diesen Verheißenungen notwendigerweise verbundenen Annahmen denn auch zutreffen. Barad nun formuliert diese Annahmen so:

Classical epistemological and ontological assumptions, such as the ones found to underlie Newtonian physics, include the existence of individual objects with determinate properties that are independent of our experimental investigations of them. This accounts for the fact that the process of measurement is transparent and external to the discourse of Newtonian science. It is assumed that objects and observers occupy physically and conceptually separable positions. Objects are assumed to possess individually determinate attributes, and it is the job of the scientist to cleverly discern these inherent characteristics by obtaining the values of the corresponding observation-independent variables through some benignly invasive measurement procedure. [...] The transparency of the measurement process in Newtonian physics is a root cause of its value to, and prestige within, the Enlightenment culture of objectivism.⁸⁶

⁸³ Ich verwende den Begriff *Welt* Barad folgend ohne Anführungszeichen in dem noch zu explizierenden agentiell-realistischen Verständnis solcher Begriffe.

⁸⁴ Vgl. zu dieser Art von newtonscher, reflexiver Beobachtung und der Kritik an derselben auch das Kapitel 2.2 zur Relevanz Haraways für die baradschen Überlegungen.

⁸⁵ Vgl. hierzu die Ausführungen in ebd., S. 108: »The hallmark of Newtonian physics is its strict determinism: given the ›initial conditions‹ (i.e., the position and momentum of a particle at any one instant in time) and the full set of forces acting on a particle, the particle's entire trajectory (i.e., its entire past and future) is determined. Newton's equations (i.e., the laws of classical mechanics) are acclaimed for their ability to predict and retrodict the physical state of a system for all time. According to Newtonian mechanics, the initial conditions can be determined by any one of a number of different measurement procedures.«

⁸⁶ Ebd., S. 106-107. Vgl. dazu auch Barads frühere Aussage im selben Tenor: »The transparency of Newtonian physics to the process of measurement grew out of and helped reinforce this cultural

Welche Probleme also könnten sich dem Ansinnen der newtonschen Physik in den Weg stellen, die genauen Werte von zu messenden Objekten in der Welt zu erheben? Was wären denkbare Hindernisse, die den Messbegriff der klassischen Physik untergraben und deren Verheißenungen unterminieren könnten?

Bereits aus Sicht der klassischen newtonschen Physik ist es unvermeidbar, dass jede Messung eine *Störung* am gemessenen Objekt hervorruft.⁸⁷ Dies gilt beispielsweise auch für den zuvor genannten Fall des mittels einer Laserpistole gemessenen Automobils: Zwar ist die Größe der durch das Licht am Auto hervorgerufenen Störung so gering, dass sie im Rahmen von Verkehrskontrollen keine Rolle spielt und weder von dem die Messung durchführenden Personal noch von den Fahrer*innen des Autos überhaupt bemerkt werden kann.⁸⁸ Da auch Licht aber über Impuls und Energie verfügt, geht die Kollision zwischen diesem und dem Auto auch an Letzterem nicht ganz spurlos vorüber, sondern führt – wie eben alle Messungen im Allgemeinen – zu einer Störung am gemessenen Objekt, die unter bestimmten Umständen auch praktisch relevant werden kann.⁸⁹ Dies gilt Barad zufolge für entsprechend kleine Objekte oder wenn die geforderte Genauigkeit der Messung ein gewisses Limit überschreitet.⁹⁰

Das grundsätzliche Problem ist also, dass die newtonsche Physik, um ihre Verheißenungen einlösen zu können, Wege finden muss, trotz dieser unausweichlich bei jeder Messung auftretenden Störung zu den exakten, ursprünglichen Werten der gemessenen Objekte zu kommen, ganz so, als hätte die Messung und die durch sie verursachte Störung gar nicht stattgefunden.⁹¹ Beruhigenderweise hält die klassische Physik gleich zwei Verfahren bereit, um diesen Anspruch einzulösen:

Zum einen nämlich geht die newtonsche Physik davon aus, dass die bei Messungen auftretenden Interaktionen *kontinuierlich* sind.⁹² Diese Kontinuität hat zur Folge, dass

milieu of objectivism that made the successes of science unparadoxical: science works because scientists are able to obtain the facts about the world as it exists independently of us human beings.« (Barad (1996): »Meeting the Universe Halfway«, S. 184) Mit dem Begriff der *measurement transparency* bezeichnet Barad die von ihr vorgebrachten zwei Grundannahmen der newtonschen Physik (vgl. dazu die Ausführungen Barads in Fußnote 261 in Kapitel 1.4.1, in denen diese Grundannahmen als (1) und (2) verhandelt werden; vgl. auch die weitergehende Darstellung in Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 107-109 und ebd., S. 415 Fn. 55, sowie die damit verschränkten Begriffe der »transparency of language« (ebd., S. 138), der »transparency of observations« (ebd., S. 195), der »transparency of knowledge practices« (ebd., S. 244) und der »transparency [als Teil des] [...] representationalism« (ebd., S. 360). Entsprechend fasst Trinkaus (2013): »Diffraction als subalterne Handlungsmacht«, S. 137 das Weltbild der newtonschen Physik als eines, in dem »die Dinge einen Ort haben und als das wirken, was sie sind: Einheiten von klar bestimmbarer Größe, Kraft und unterschiedlicher Dichte.«

87 So Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 107-108: »The fact that things are disturbed when we measure them is not a startling new result of quantum physics – this point already follows from classical physics.«

88 Vgl. ebd., S. 108.

89 So ebd., S. 107: »It is important to note that since light has momentum and energy, the measurement necessarily disturbs the object.«

90 Vgl. ebd., S. 107-108.

91 Ebd., S. 108. Auch hier verwende ich *Messung* und *Beobachtung* synonym (vgl. dazu die Ausführungen in Fußnote 63 in Kapitel 1.1.3).

92 Vgl. ebd., S. 107.

es prinzipiell möglich ist, die bei einer Messung verwendete Energie kleiner und immer noch kleiner zu machen, bis die durch diese Energie hervorgerufene Störung am gemessenen Objekt so weit verringert wurde, dass sie unter den jeweiligen Umständen doch wieder vernachlässigt werden kann.⁹³

Aber besser noch: Da die klassische Physik auch davon ausgeht, dass die Größe der bei einer Messung auftretenden Störung grundsätzlich *bestimbar* ist, ist es nicht nur möglich, diese Störung so weit wie gewünscht zu verringern. Wenn die Größe der Störung nämlich bestimbar ist, kann sie – wie oben verlangt – kurzerhand aus den Messergebnissen herausgerechnet werden.⁹⁴ Auf diese Weise könnten die ursprünglichen Eigenschaften des gemessenen Objekts, die durch die Messung verändert wurden, auf rechnerischer Ebene wieder hergestellt werden und die Messergebnisse wären dann trotz der durch die Messung hervorgerufenen Störung exakt – als wäre diese Messung gar nicht vollzogen worden.⁹⁵

Wie Barad allerdings unter Bezug auf Bohrs Philosophie-Physik darlegt, sind diese für die Verheißenungen der klassischen Physik und das mit diesen verbundene Selbstverständnis der newtonschen Forschenden entscheidenden Verfahren und die damit verknüpften Annahmen über den Messprozess trügerisch – und um die grundsätzliche Problematik zu vermitteln, durch welche die diesbezüglichen Annahmen der newtonschen Physik untergraben werden, greift Barad in *Meeting the Universe Halfway* auf die folgende Variante des time-of-flight measurement zurück.

1.2.2 Barads Variante des time-of-flight measurement

Note that since the aim of this gedanken experiment is to understand where the Newtonian assumptions fail, I will use the language of classical mechanics (which, for example, assumes that objects have individually determinate properties before the act of measurement and that the measurement interaction disturbs the prior values) until we more fully understand what an alternative might look (and sound) like.⁹⁶

Diese als Motto gegebene Passage aus Barads Arbeiten kann noch einmal daran erinnern, dass die Darstellungen zum time-of-flight measurement und zum Doppelspalt-experiment aus Kapitel 1.1 – so wesentlich sie sich auch für die Auseinandersetzung mit dem agentiellen Realismus erweisen werden – in dem Moment in die Irre führen müssten, in dem angenommen würde, mit ihnen seien Barads Schlussfolgerungen auf physikalischer Seite bereits weitgehend ausgearbeitet und die Implikationen der bohrschen Philosophie-Physik in Barads Verständnis in ausreichendem Maße erfasst. Daher

⁹³ Vgl. dazu Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics«, S. 50. Für den Fall der Laserpistole könnte dies bedeuten, weniger Licht bzw. Licht mit niedrigerem Impuls und niedriger Energie zu verwenden.

⁹⁴ In Barads Worten: »When the disturbance is not negligible, Newtonian physics argues that the measurement-independent values of the object's position and momentum can be found nonetheless because the disturbance can always be determined and subtracted out.« (Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 108)

⁹⁵ Vgl. ebd.

⁹⁶ Ebd., S. 111.

ist es wichtig, präsent zu halten, dass auch und gerade das Beispiel des time-of-flight measurement bei Barad bewusst mittels der Sprache der klassischen Physik zur Darstellung kommt und dass dieses weder die philosophisch-physikalischen Überlegungen Bohrs, noch die agentiell-realistischen Schlussfolgerungen Barads ganz vermitteln soll und kann.

Konkret nachvollziehbar wird dies daran, dass der in Barads Argumentation zum time-of-flight measurement zentral zur Anwendung kommende Begriff der *Störung* so nur aus Perspektive der klassischen Physik sinnvoll herangezogen werden kann und dass die quantenphysikalischen Überlegungen Bohrs und Barads diesen Begriff im weiteren Verlauf als unzureichend kennzeichnen werden.⁹⁷ Es ist also wesentlich, die in diesem Kapitel 1.2 vollzogene, auf diesen Begriff der Störung rekurrierende Aufarbeitung des time-of-flight measurement und die daraus folgenden Implikationen als eine für noch ausstehende Argumentationsschritte notwendige, aber dennoch nur temporär gültige Adressierung der bohrschen Überlegungen in Barads Verständnis aufzufassen.⁹⁸

Vor dem Hintergrund dieser vorgreifenden Einordnung ist es nun möglich, zur Darstellung der baradschen Variante des time-of-flight measurement überzugehen und zur Herausarbeitung der Problematik, die die oben als für den klassisch-physikalischen Messbegriff notwendig markierten Prämissen der newtonschen Physik aus den Angeln heben und auf diese Weise näher an einige Kernpunkte der bohrschen Philosophie-Physik in Barads Verständnis heranführen wird.

Wie bereits genannt, sieht die von Barad in *Meeting the Universe Halfway* ausgearbeitete Variante des time-of-flight measurement vor, die Position⁹⁹ eines einzelnen Elektrons zu messen. Hierfür soll das von einem Blitzlicht ausgesandte Licht auf dieses

97 So schreibt dazu bereits Barad (1995): »A Feminist Approach to Teaching Quantum Physics«, S. 52: »The term *disturbance* has been used in this analysis because it follows the Newtonian assumption that objects exist in definite states that are subsequently disturbed in the process of measurement. This terminology is misleading, however.« Und auch: »In fact, the divergence between the interpretations of Bohr and Heisenberg becomes more evident in Bohr's later writings, where he moves away from any reference to disturbance whatsoever, since the term disturbance connotes the existence of some undisturbed, well-defined, observer-independent classical state.« (Ebd., S. 53) Diese Thematik wird in Kapitel 1.3 im Rahmen einer vergleichenden Analyse der Begrifflichkeiten Heisenbergs und Bohrs in größerer Tiefe zur Aufarbeitung kommen.

98 Um einem etwaigen Missverständnis an dieser Stelle vorzubeugen: Barads auf dem time-of-flight measurement gründende Argumentation hat *nicht* etwa deswegen vorläufigen Charakter, weil Barad in *Meeting the Universe Halfway* eine spezielle Variante des time-of-flight measurement heranzieht. Die Vorläufigkeit dieser hier neu aufgearbeiteten Argumentation röhrt vielmehr daher, dass Barads Ausführungen diese Argumentation in der Sprache und Sichtweise der klassischen Physik vollziehen und so auf dem Terrain der newtonschen Physik beginnend erst nach und nach in die Umlaufbahnen der Überlegungen Bohrs überleiten.

99 Wie Barad schreibt, wäre es ebenso möglich, ihre Argumentation anhand des Beispiels eines Apparats zu vollziehen, der Impuls statt Position oder der statt eines Teilchens größere Objekte zu messen hätte, wie etwa einen Baseball. Ihr zufolge ist der Begriff der Position jedoch intuitiver nachvollziehbar als der des Impulses und das Heranziehen von Alltagsobjekten wie einem Baseball könnte zur Folge haben, dass bestimmte Details aufgrund bereits aus dem Alltag existierender Vorannahmen übergangen würden (vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 109). Vgl. dazu auch Fußnote 80 in diesem Kapitel 1.2.

Elektron treffen und von diesem reflektiert werden, um dann von einer fotografischen Platte aufgefangen zu werden und dort eine belichtete Stelle zu hinterlassen, anhand deren Lage sich schließlich die Position des Elektrons ablesen lässt.¹⁰⁰ Entsprechend besteht der Versuchsapparat dieses time-of-flight measurement aus dieser fotografischen Platte und dem besagten Blitzlicht, beides auf ein Stativ montiert.¹⁰¹ Damit keine Einflüsse von außen das Ergebnis der Messung verfälschen, ist der Raum, in dem dieser Versuchsaufbau sich befindet, stockdunkel¹⁰² und damit die Position des Elektrons später klar erkennbar und das entstehende Bild nicht durch eine Bewegung des Aufzeichnungsapparats unscharf geworden ist, ist die fotografische Platte fest mit dem Stativ verschraubt.¹⁰³

In Barads Beispiel wird nur ein einziges Photon vom Blitzlicht auf das Elektron gesandt.¹⁰⁴ Da auch dieses zur Messung eingesetzte einzelne Photon jedoch über ausreichend Impuls und Energie verfügt, um das Elektron in spürbarer Weise zu beeinträchtigen, kann die bei der Messung stattfindende Kollision dieser beiden Teilchen nicht spurlos am Zustand des Elektrons vorbeigehen, sondern muss diesen unweigerlich stören. Die entscheidende Frage ist also: Ist es mittels eines der beiden von der klassischen Physik bereitgehaltenen Verfahren möglich, dennoch die Werte des Elektrons so zu erheben, als hätten Messung und Störung nicht stattgefunden?

Dem ersten dieser Verfahren zufolge sollte es also möglich sein, die Intensität des beim time-of-flight measurement eingesetzten Lichts so weit zu verringern, dass die von diesem ausgelöste Störung am gemessenen Elektron gering genug wird, um sie zu vernachlässigen. Notwendige Bedingung für die Möglichkeit dieses von der newtonschen Physik vertretenen Verfahrens war dabei die Annahme der klassischen Physik, dass die bei Messungen stattfindenden Prozesse *kontinuierlich* beschaffen sind. Wie Barad jedoch ausführt, erbrachten verschiedene Experimente den Nachweis, dass die physikalische Welt entgegen diesem Postulat der newtonschen Physik eben nicht von kontinuierlicher, sondern von *diskreter* bzw. *diskontinuierlicher* Beschaffenheit ist.¹⁰⁵

Der vielleicht bekannteste dieser Befunde hat seinen Ausdruck gefunden in der Planck Konstante h – auch bekannt als Plancksches Wirkungsquantum –, welche Barad zufolge als »essential discontinuity« oder »quantum jump«¹⁰⁶ die Quantenphysik cha-

¹⁰⁰ Vgl. ebd., S. 110-111.

¹⁰¹ Barad nennt dieses Blitzlicht wohl, um das Beispiel intuitiv verständlicher zu machen. Im Prinzip geht es allerdings nur um das folgende einzelne Photon und nicht um die Art der Quelle, aus der es stammt.

¹⁰² Vgl. ebd., S. 110.

¹⁰³ Vgl. ebd., S. 110-111. Ebd., S. 111 illustriert dies zudem mit dem Verweis auf eine handelsübliche Kamera: »If we were to hold the shutter of a camera open and move it around while taking the picture, the photograph would surely be blurred and would not give us any meaningful indication of an object's position.«

¹⁰⁴ Ebd., S. 111.

¹⁰⁵ Barad verwendet in *Meeting the Universe Halfway discrete and discontinuous* in diesem Kontext als synonym. So schreibt sie unter anderem von der »idea of an essential discreteness or discontinuous nature [...] initially introduced by Max Planck [...].« (Ebd., S. 108) Diese Arbeit verwendet diese Begriffe ebenso synonym.

¹⁰⁶ Ebd.

rakterisiert.¹⁰⁷ Diese Planck Konstante h symbolisiert¹⁰⁸ ganz im Sinne des Begriffs *Quant* die kleinste mögliche Quantität, die es geben kann.¹⁰⁹ Die experimentell bestätigte Existenz dieser kleinsten und grundsätzlich ununterschreitbaren Größe bedeutet, dass die bei Messungen stattfindenden Prozesse nicht kontinuierlich sein können, sondern diskret und diskontinuierlich beschaffen sind. Daher kann auch die Intensität der bei Messungen verwendeten Energie – und damit die durch diese Energie am beobachteten Objekt verursachten Störungen – entgegen den Annahmen der newtonschen Physik nicht beliebig klein und auch nicht prinzipiell vernachlässigbar gemacht werden:

The lack of continuity places a lower bound on how small the disturbance caused by the measurement interaction can be (e.g., the light can be reduced in its intensity no further than one ‚photon‘ – one particle of light – or else no measurement takes place). In particular, it means that Newtonian physics will have to face the limits of its ability to ignore measurement interactions by presuming that they can always be reduced to the point where they are negligible.¹¹⁰

Entsprechend gilt auch für die baradsche Variante des time-of-flight measurement, dass die vom Licht hervorgerufene Störung am Elektron nicht beliebig verringert wer-

¹⁰⁷ Vgl. ebd. Barad verweist an anderer Stelle darauf, dass bereits das bohrsche Atommodell mit seinem Kernelement, der Formulierung des Quantensprungs, dieselbe fundamentale Diskretheit ausdrückt – so in Barad (2015): »Die queere Performativität der Natur«, S. 170: »Mehr als ein Jahrzehnt vor dem Aufkommen der Quantentheorie, machte der Physiker Niels Bohr den einfallsreichen theoretischen Schritt, Max Plancks Idee der Energiequantisierung auf Materie selbst und insbesondere auf jedes Stückchen Materie, d.h. jedes Atom, anzuwenden.«

¹⁰⁸ Ich lehne mich mit dieser Formulierung, dass die Planck Konstante h die kleinste mögliche Quantität bzw. die fundamentale Diskretheit *symbolisiert*, an Niels Bohrs Wiedergabe dieses Verhältnisses an, wenn dieser in Bohr (1928): »The Quantum Postulate«, S. 580 schreibt; »an essential discontinuity, [...] symbolised by Planck's quantum of action.« Kapitel 3.2.4 wird diesen Begriff der Symbolisierung im Kontext der dort durchgeführten Analyse des Digitalen erneut aufgreifen.

¹⁰⁹ Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 108.

¹¹⁰ Ebd., S. 108-109. Mag dies bei der Messung von Automobilen noch kein praktisches Hindernis darstellen, ändert sich dies eben spätestens bei der Messung von Elementarteilchen grundlegend: Während das durch die Planck Konstante h symbolisierte untere Limit im Vergleich zu Autos und Tennisbällen verschwindend klein ausfällt, stellt sich diese Grenze als eine deutlich spürbare heraus, wo es um das Messen von Objekten in vergleichbarem Maßstab geht. Barad beschreibt dies unter Bezug auf ein wenig Mathematik so: »Dies hat mit der Tatsache zu tun, dass es in den Gleichungen der Quantenmechanik einen Faktor gibt, der das Verhältnis von h/m beschreibt, wobei h Plancks Konstante darstellt (ein Maß der Quantenheit oder Diskretheit von Natur) und m die Masse des fraglichen Objekts. An der Grenze, wo das Verhältnis h/m sich Null nähert, reduzieren sich die Gleichungen der Quantenphysik zu jenen Newtons. Jetzt ist h , Plancks Konstante, eine sehr kleine Zahl, aber eben nicht gleich Null. Wenn $h = \text{Null}$ wäre, dann bräuchte es keine Quantenmechanik. Wenn also $h \neq \text{Null}$ ist, macht eine verhältnismäßig große Masse des Objektes (d.h. im Verhältnis zur Größe von h) das Verhältnis sehr klein, d.h. annähernd Null. In solch einem Fall sind die Quantenwirkungen nicht sehr deutlich und es reicht, sich auf Newton zu verlassen. Doch nochmals, das ist nur eine Annäherung. Soweit wir wissen, leben wir in einer Quantenwelt.« (Barad/Theodor (2015): »Verschränkungen und Politik«, S. 213 Fn. 2) Auch für den Fall der Messung mittels einer Laserpistole bedeutet dies, dass die für die Messung verwendete Lichtmenge zwar bis auf ein einzelnes Photon reduziert werden kann – aber eben nicht weiter (vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 108).

den kann, so dass das von Barad beschriebene einzelne Photon bereits die unterste Grenze ist, bis zu der sich die für die Messung notwendige Intensität herabsetzen lässt. Oder anders formuliert: Der Einsatz dieses einzelnen Photons ist bereits »the best-case scenario given the existence of the quantum discontinuity«¹¹¹, der Planck Konstante h .

Damit aber hat sich das erste der beiden Verfahren der klassischen Physik, wie der Störung im Messergebnis beizukommen wäre, bereits als unausführbar erwiesen. Sollen die Verheißungen der newtonischen Physik also dennoch eingelöst werden, so liegt nun alles am zweiten dieser Verfahren, dem zufolge es grundsätzlich möglich sein soll, die Größe der bei der Messung auftretenden Störung zu bestimmen, um sie dann kurzerhand aus dem Ergebnis der Messung herauszurechnen und so doch die unverfälschten Werte des Elektrons zu erhalten.¹¹² Dass dieses Verfahren und seine Annahmen sich allerdings ebenfalls nicht halten lassen, gehört Barads Darstellungen nach bereits zur Krux der Argumentation Bohrs.¹¹³

Soll die in Barads time-of-flight measurement auftretende Störung nämlich im Sinne der klassischen Physik bestimmt werden, so entspinnt sich laut Barad notwendigerweise der folgende Gedankengang: Angenommen, der *initiale* Impuls des für die Messung verwendeten Photons¹¹⁴ wäre bekannt, also der Impuls, den das Photon beim Verlassen des Blitzlichts und damit vor seiner Kollision mit dem Elektron hat.¹¹⁵ Wenn es nun noch möglich wäre, den *finalen* Impuls desselben Photons zu messen, also den, den es *nach* der Kollision mit dem zu messenden Elektron innehaben wird, dann wäre es möglich, aus diesen beiden Werten die Veränderung im Impuls des Photons zu errechnen, die dieses bei seiner Kollision mit dem Elektron erfahren hat.¹¹⁶ Ist aber diese Veränderung im Impuls des Photons bekannt, dann kann auch die durch diese Messung hervorgerufene Veränderung im Impuls des gemessenen Elektrons berechnet werden, denn »the change in the particle's momentum (vector) is equal (and opposite) to the change in the photon's momentum (vector).«¹¹⁷ Wenn also zusätzlich zum initialen Impuls des Photons auch sein finaler Impuls nach der Kollision mit dem Elektron bekannt wäre, so könnte auch die Größe der Störung bestimmt werden, die die Messung durch das Photon am Elektron hervorgerufen hat und diese Störung wie von der klassischen Physik behauptet aus den Messergebnissen herausgerechnet werden.¹¹⁸

Da es kein großes Hindernis darzustellen scheint, Kenntnis über den initialen Impuls des Photons beim Verlassen des Blitzlichts zu gewinnen, hängt in dieser Sache alles davon ab, ob denn auch der finale Impuls dieses Photons nach der Kollision mit dem Elektron im Rahmen der Messung erhoben werden kann.¹¹⁹ Um nun aber diesen finalen Impuls des von der Kollision mit dem Elektron zurückkehrenden Photons zu

¹¹¹ Ebd., S. 111-113.

¹¹² Vgl. ebd., S. 113.

¹¹³ Vgl. ebd., S. 109.

¹¹⁴ Nur, um dieses Missverständnis möglichst auszuschließen: Es geht an dieser Stelle also nicht um den Impuls des zu messenden Elektrons, sondern um den des zur Messung eingesetzten Photons.

¹¹⁵ Vgl. ebd., S. 113.

¹¹⁶ Vgl. ebd.

¹¹⁷ Ebd.

¹¹⁸ Vgl. ebd.

¹¹⁹ Vgl. ebd.

messen, wäre es zwingend notwendig, die fotografische Platte, auf der das Photon auftreffen wird, *beweglich* zu lagern, beispielsweise – ganz wie im Fall des von Einstein in das Doppelpalzexperiment eingeführten Detektors – mit einer Federung.¹²⁰ Nur dann nämlich könnte anhand der Auslenkung dieser Platte bestimmt werden, wie groß der Impuls des auftreffenden Photons ist, während der Apparat in dem Fall, dass die fotografische Platte weiter fest am Stativ fixiert wäre, die Energie des Photons schlicht absorbieren würde und die Größe des Impulses nicht exakt bestimmt werden könnte.¹²¹ Damit zeichnet sich bereits das Dilemma ab, in das der Versuch, im Rahmen des beschriebenen time-of-flight measurement den zur Bestimmung der Störung notwendigen Wert des finalen Impuls des Photons zu messen, führen muss – ein Dilemma, das erneut den im zurückliegenden Kapitel 1.1 umrissenen Komplementaritätsbegriffs Bohrs auf den Plan ruft:

Wird nämlich die fotografische Platte für die Messung des finalen Impuls des Photons *beweglich* in den Experimentalaufbau integriert, so verunmöglicht dies zwangsläufig die eigentlich intendierte Messung der Position des Elektrons.¹²² Für diesen eigentlichen Zweck des Experiments nämlich müsste die fotografische Platte weiterhin *starr fixiert* bleiben, da andernfalls die Position des Teilchens nicht scharf wiedergegeben werden kann.¹²³ Um beide Werte in derselben Messung zu erheben, müsste der eingesetzte Apparat also über ein Bauteil verfügen, das *zugleich* *beweglich und starr* wäre. Dass dies nicht möglich ist, da Beweglichkeit und Starrheit einander ausschließen, adressiert damit erneut genau das, was Bohr in seiner Neufassung von Komplementarität auf den Begriff bringt.¹²⁴

Das heißt, dass es den Apparat, der in der Lage wäre, zugleich die Position des eigentlich zu messenden Elektrons und den finalen Impuls des zur Messung eingesetzten Photons zu bestimmen – wodurch es erst möglich werden würde, die bei der Messung auftretende Störung im Sinne der klassischen Physik in Erfahrung zu bringen und herauszurechnen – nicht geben kann.¹²⁵ In den Worten Barads:

Hence it is not possible to determine the effect of the photon on the particle, since we would need to determine the photon's position and momentum simultaneously, which is physically impossible given that the measurements of position and momentum require mutually exclusive apparatuses for their respective determination.¹²⁶

Barad kommt daher mit Bohr zu der Schlussfolgerung, dass es grundsätzlich *unmöglich* ist, die bei Messungen entstehenden Störungen zu bestimmen, wenn zugleich die ei-

¹²⁰ Vgl. ebd., S. 111.

¹²¹ Vgl. ebd.

¹²² Vgl. ebd., S. 113.

¹²³ Vgl. ebd., S. 111.

¹²⁴ Ebd., S. 109. Barad spricht diesbezüglich auch von den verschiedenen Apparaten bzw. Versuchsaufbauten als »one requiring fixed parts, and the complementary arrangement requiring those same parts to be movable« (ebd., S. 139).

¹²⁵ So ebd., S. 111: »Crucially, then, the position and momentum are not simultaneously determinate because they require mutually exclusive experimental circumstances (a fixed support and a movable support respectively [...]).«

¹²⁶ Ebd., S. 113.

gentlich intendierte Messung durchgeführt werden soll – oder andersherum formuliert: »[O]bservation is only possible on the condition that the effect of the measurement is indeterminable.«¹²⁷

Bohrs und Barads quantenphysikalische Schlussfolgerungen weisen also beide Verfahren der newtonschen Physik, mit denen diese ihre Ansprüche und die oben genannten Verheißungen sichern sollte, auf grundlegende Weise als unhaltbar aus. Weder das erste dieser Verfahren – dem zufolge die bei Messungen auftretenden Störungen prinzipiell beliebig klein gemacht werden sollten –, noch das zweite dieser Verfahren – mittels dessen diese Störungen bestimmt und aus den Messergebnissen herausgerechnet hätten werden können – hat sich als durchführbar erwiesen. Damit aber steht auch die Annahme der klassischen Physik, dass Beobachtungen bzw. Messungen einflusslos und aus sicherer Distanz die eigentlichen Werte von Objekten in der Welt erheben können – wie Barad sie unter dem Begriff der *measurement transparency*¹²⁸ zusammenfasste – grundlegend in Frage.

Was hieße es also für eine physikalische Theorie, wenn die Ergebnisse von Messungen nie die ursprünglichen Werte der gemessenen Objekte repräsentierten und wie ließe sich so etwas wie wissenschaftliche Objektivität unter diesen Bedingungen noch halten? Die folgenden Ausführungen werden zeigen, dass die Theorieangebote Bohrs und Barads als Antworten auf ebensolche Fragen begriffen werden können. Wie radikal diese Antworten ausfallen, lässt sich bereits anhand der Schlussfolgerung vorzeichnen, wie Barad sie unter dem Begriff des *bohrschen Schnitts* in ihre Darstellung der Philosophie-Physik Bohrs einführt.

1.2.3 Der bohrsche Schnitt

Bohr argues that the indeterminacy of the measurement interaction is of profound consequence: Since observations involve an indeterminable discontinuous interaction, as a matter of principle, there is no unambiguous way to differentiate between the ›object‹ and the ›agencies of observation.‹ No inherent/Cartesian subject-object distinction exists.¹²⁹

Wie sich anhand der Argumente Barads zum time-of-flight measurement zeigte, ist die bei Messungen bzw. Beobachtungen unweigerlich entstehende Störung am gemessenen Objekt grundsätzlich *unbestimmbar*. Diese Feststellung hat Bohr und Barad zu folge profunde Konsequenzen für die Auffassung dessen, was Messungen sind, was sie leisten und welche Status dem gemessenen Objekt und dem messenden Apparat zugeschrieben werden können.

Wie Barad nämlich hervorhebt, ist die Frage nach dem Status des Photons in ihrem time-of-flight measurement keineswegs so trivial, wie angenommen werden könnte: Wird in diesem Gedankenexperiment ein Apparat mit starr fixierter fotografischer

¹²⁷ Ebd.

¹²⁸ Vgl. hierzu noch einmal die in Kapitel 1.2.1 mit Fußnote 86 verknüpfte Passage aus ebd., S. 106-107 wie auch die weitergehenden Ausführungen zu diesem Begriff auf ebd. S. 107.

¹²⁹ Ebd., S. 114.

Platte verwendet, so zählt das Photon, mittels dessen die Position des Teilchens gemessen werden soll, zum messenden Apparat und damit zu den Beobachtungsgrenzen.¹³⁰ Wird aber im selben Aufbau eine bewegliche fotografische Platte verwendet, mittels derer dann der Impuls des Photons gemessen werden soll, dann ist das Photon mit einem Mal Teil des untersuchten Objekts geworden und gehört eben nicht mehr zum Messapparat.¹³¹ Das Photon wechselt seinen Status also in Abhängigkeit von den Eigenschaften des jeweils für die Messung eingesetzten Apparats.¹³² Dies bedeutet laut Barad:

The boundary between the >object of observation< and the >agencies of observation< is indeterminate in the absence of a specific physical arrangement of the apparatus. What constitutes the object of observation and what constitutes the agencies of observation are determinable only on the condition that the measurement apparatus is specified. The apparatus enacts a cut delineating the object from the agencies of observation.¹³³

Wenn die Grenze zwischen messendem Apparat und gemessenem Objekt sich aber – wie im Fall des Photons – in Abhängigkeit von Änderungen der materiellen Spezifika des zur Messung eingesetzten Apparats verschiebt, dann stellt dies eine weitere und für die klassische Physik womöglich noch grundlegendere Annahme in Frage, der zufolge es sich bei Apparaten und Objekten um individuell bestimmte Objekte mit im Voraus bereits feststehenden Grenzen handeln soll.¹³⁴ Ausgehend von dem, was sich in den Überlegungen Bohrs und Barads zum time-of-flight-measurement gezeigt hat, liegt also der Schluss nahe, dass die Grenzen zwischen messendem Apparat und gemessenem Objekt – ganz wie die in Kapitel 1.1 beschriebenen Charakteristika von Wellen und Teilchen – *nicht als im Voraus vorhanden und im Voraus bestimmt verstanden werden können*, sondern dass diese Grenzen bzw. Schnitte jeweils erst *durch den für die Messung verwendeten Apparat und abhängig von dessen spezifischen Merkmalen produziert werden*.¹³⁵

Es besteht also, anders als die newtonische Physik und mit dieser verbundene Vorstellungen es postulierten – und hier folgt Barad direkt der Terminologie Bohrs¹³⁶ – kein *cartesianischer Schnitt* zwischen Messapparat und gemessenem Objekt in dem Sinne, dass die Grenzen zwischen diesen Komponenten als bereits existierend vorausge-

¹³⁰ Vgl. ebd.

¹³¹ Vgl. ebd.

¹³² Vgl. ebd.

¹³³ Ebd. Somit gilt, »[i]f the experimental arrangement is changed, there is a corresponding change in the cut, that is, in the delineation of >object< from >agencies of observation< and the causal structure (and hence >the future behavior of the system<) enacted by the cut« (ebd., S. 274), ebenso wie, »for every given apparatus, there is an unambiguous resolution of the distinction between the object and the agencies of observation.« (Ebd., S. 115)

¹³⁴ Vgl. ebd., S. 106-107.

¹³⁵ Vgl. ebd., S. 114. Der Umstand, dass das Photon im Fall einer starr fixierten Plattform zu den messenden Agenzien gehört, im Fall einer beweglichen Plattform aber Teil des gemessenen Objekts ist, impliziert noch einen weiteren wesentlichen Schluss Bohrs, den auch Barad anführt. Dieser Wechsel in der Rolle des Photons bei der Messung impliziert, dass »*the measurement interaction can be accounted for only if the measuring device is itself treated as an object, defying its purpose as a measuring instrument.*« (Ebd.)

¹³⁶ Vgl. ebd. und ebd. S. 320.

setzt werden könnten.¹³⁷ Vielmehr bilden Apparate und Objekte ein untrennbares¹³⁸, nondualistisches Ganzes¹³⁹ in dem Sinne, dass es sich bei den Grenzen zwischen ihnen – und das ist eine der terminologischen Neuschöpfungen Barads – um *bohrsche Schnitte* handelt, das heißt um konstruierte, contingente¹⁴⁰ und in Abwesenheit der sie erst realisierenden¹⁴¹ Apparate unbestimmt bzw. uneindeutig bleibende¹⁴² Schnitte.¹⁴³

Um diese bis hierhin sicherlich noch recht abstrakt und kontraintuitiv wirkende Schlussfolgerung zu verdeutlichen – aber auch, um die bis hierhin gezogenen Fäden direkt fortzuführen – soll mit Barad auf das Beispiel eines Stocks in einem dunklen Raum zurückgegriffen werden, wie es auch Bohr bereits verwendet hat, um sein Konzept der Komplementarität zu illustrieren.¹⁴⁴

¹³⁷ Vgl. ebd., S. 139-140. Im englischen Original als »Cartesian cut« (ebd., S. 114) bezeichnet.

¹³⁸ Vgl. hierzu beispielsweise ebd., S. 33, S. 200 oder auch S. 348.

¹³⁹ Vgl. Barad (1996): »Meeting the Universe Halfway«, S. 170.

¹⁴⁰ Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 115.

¹⁴¹ Diese Übersetzung von *to enact* als *realisieren* findet sich auch an einigen Stellen in den deutschsprachigen Übersetzungen der Arbeiten Barads. So übersetzt Theodor die Formulierung »enacts a specific cut between ›observed‹ and ›agencies of observation‹« (Barad (2010): »Quantum Entanglements and Hauntological Relations of Inheritance«, S. 253) mit »realisiert [...] einen spezifischen Schnitt zwischen ›Beobachtetem‹ und ›Beobachtungsinstanzen‹« (Barad (2015): »Quantenverschränkungen und hantologische Erbschaftsbeziehungen«, S. 91-92) und ebenso in denselben Texten »enacts« (S. 253) noch einmal als »realisieren« (S. 92). Daneben wird von Theodor »enact« (aus Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 91) aber auch übersetzt als »umsetzen« (Barad (2013): »Diffractionen«, S. 58); »enacted« (aus Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 93) als »vollzogenen« (Barad (2013): »Diffractionen«, S. 61); »enactment« (aus Barad (1996): »Meeting the Universe Halfway«, S. 183) als »Inkraftsetzung« (Barad (2015): »Dem Universum auf halbem Wege begegnen«, S. 51) und »apparatus which enacts a cut« (aus Barad (2010): »Quantum Entanglements and Hauntological Relations of Inheritance«, S. 256) als »Apparat [...], der einen Schnitt [...] umsetzt« (Barad (2015): »Quantenverschränkungen und hantologische Erbschaftsbeziehungen«, S. 96). Jürgen Schröder verwendet ebenso *Inkraftsetzen* (vgl. beispielsweise Barad (2012): *Agentieller Realismus*, S. 12 und S. 18), aber auch *Verwirklichen* (vgl. beispielsweise ebd., S. 15). Josef Barla und Katharina Maly ziehen *Inkraftsetzen* als Übersetzung vor (vgl. beispielsweise Barad (2016): »Real werden«, S. 535 und S. 537), umgehen aber sonst die direkte Übersetzung von *enactment* sehr elegant und sinnvoll. Auch wenn der Begriff des *Inkraftsetzens* sich somit als eine allgemein geteilte Übersetzung erweist, greife ich in dieser Arbeit auf Theodors Begriff des *Realisieren* für *enactment* zurück, da dieser Begriff einen eindeutigen Bezug zu Barads Terminus des *agentiellen Realismus* herstellt und klar markiert, dass es sich bei den Schnitten, um die es hier geht, in Barads Sinne um agentiell *realisierte* Schnitte handelt – wobei die nähere Auseinandersetzung mit diesem Begriff des *enactments* im zweiten Abschnitt dieser Arbeit erfolgen wird (vgl. besonders Kapitel 3.1.3 zum agentiellen Schnitt).

¹⁴² Vgl. Barad (2007): *Meeting the Universe Halfway*, S. 114.

¹⁴³ Im englischen Original ist entsprechend vom »Bohrian cut« (ebd., S. 119) die Rede.

¹⁴⁴ Vgl. ebd., S. 154. Wie Barad an anderen Stellen referenziert, findet sich dieses Beispiel auch in den Werken Maurice Merleau-Pontys (vgl. dazu ebd., S. 157, S. 358-359 sowie S. 431-432 Fn. 38).

1.2.4 Ein Stock im Dunkeln

Bohr's philosophy clearly contests the Cartesian (inherent, fixed, unambiguous) subject-object distinction in a way that undermines the very foundations of classical epistemology and ontology.¹⁴⁵

Angenommen, eine Person befände sich in einem abgedunkelten Raum und hielte einen langen Stock in den Händen. Es gäbe nun in dieser Situation zwei Möglichkeiten, mit dem Stock umzugehen: Entweder die betreffende Person würde den Stock benutzen, um sich im Raum zu orientieren, indem sie mit diesem in der Hand nach möglichen Hindernissen tastete. Hierfür müsste sie den Stock fest in der Hand halten, um zu spüren, wann sie mit diesem auf ein Hindernis trifft, so dass dieser Stock – mit dem gleichsam als Verlängerung des eigenen Körpers nach Hindernissen getastet wird – zum Messapparat gehören würde. Ginge es dieser Person aber gar nicht um die Orientierung im dunklen Raum und interessierte sie sich stattdessen für den Stock selbst, so würde sie diesen auf seine Beschaffenheit hin befühlen. Hierfür müsste sie mit den Händen über seine Oberfläche fahren und um dies zu tun, hätte die tastende Hand den Stock notwendigerweise nur lose zu berühren, so dass der Stock hier zum beobachteten Objekt geworden wäre.¹⁴⁶

Beide Situationen und die in ihnen vollzogenen Praktiken – das Festhalten des Stocks und dessen nur lose Berührung – sind im Sinne Bohrs komplementär, sie ergänzen einander und schließen sich zugleich gegenseitig aus. Worum es Bohr und Barad aber im Wesentlichen geht, ist, dass der Stock im ersten der geschilderten Fälle mit zum körperlichen Apparat gehört, denn zu spüren ist nicht der Stock in den Händen, sondern das Hindernis, auf das dieser trifft. Im zweiten Fall dagegen verläuft die Grenze direkt zwischen den Händen und dem Stock, dieser ist nicht länger Teil des messenden Apparats, sondern zum Objekt der Beobachtung geworden. Wie das Photon im time-of-flight measurement wechselt der Stock also seinen Status zwischen messendem Apparat und gemessenem Objekt in Abhängigkeit von den Merkmalen der Beobachtung.¹⁴⁷

Barad betont, dass es in diesem Beispiel bereits bei Bohr nicht um die Beschreibung der subjektiven Wahrnehmung der den Stock verwendenden Person geht,¹⁴⁸ sondern dass hier weit mehr – und *Körperliches* – auf dem Spiel steht:

Now, the objection might be raised that the outside boundary of a person (as well as a stick) is in fact determinate and that the question of whether or not the ›subject‹ includes the stick is really only a pedantic musing and not a substantive issue; that is, at best, it is an example about the nature of human experience and not about the nature of ›external‹ reality. But there is another way to understand the point of this example:

¹⁴⁵ Ebd., S. 125.

¹⁴⁶ Vgl. für diese Ausführungen Barads zum Beispiel des Stocks im Dunkeln ebd., S. 154.

¹⁴⁷ Vgl. auch hierzu weiterhin ebd.

¹⁴⁸ Barad fasst dies in ebd., S. 155 so: »It is important to keep in mind that Bohr is making a point about the inherent ambiguity of bodily boundaries and the resolution of those boundaries through particular complementary cuts/practices. He is not making a point about the nature of conscious subjective experience, that is, about phenomena in the phenomenologist's sense.«

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 Gammastrahlenspektrometer 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*