

1 Vom Unverstandenen zur Metaphysik der Physik

1.1 Über die Grenzen des Erklärens in den Theoriegebäuden der Naturwissenschaft

In der Naturwissenschaft geht es nicht um die Fragen nach der Ontologie, es geht vielmehr um Fragen im Zusammenhang mit der Epistemologie, d. h. um Fragen, wie bzw. auf welche Art und Weise wir überhaupt Kenntnisse erlangen können oder wie groß die Menge an Informationen über Objekte, beispielsweise Teilchen, sein kann, die wir in Begriffen von Wahrscheinlichkeiten auszudrücken in der Lage sind. Schon an dieser Stelle stoßen wir an grundlegende Grenzen unserer Erkenntnismöglichkeiten und vor allem auch an die Grenzen unseres Verstehens.

Die Phänomene, mit denen wir beispielsweise auf der Ebene der Quantenmechanik konfrontiert sind, präsentieren sich oftmals in der Form von Komplementaritäten und Paradoxien, die einerseits mit einem präzisen mathematischen Formalismus beschrieben werden können. Das ausdeutende „Erklären“ solcher Phänomene kann jedoch immer nur unvollständig und nur ansatzweise im Geltungsbereich und der Reichweite der natürlichen Sprache, d. h. auf einer klassischen Ebene stattfinden. Die über die Sprache vermittelten Bilder und Begriffe können aber niemals jenes seltsame Phänomenale der Naturvorgänge begrifflich vollständig erfassen. Mit dem mathematischen Formalismus der objektiven Wissenschaft können empirisch ermittelte Befunde in allgemeiner und überall nachvollziehbare Form dokumentiert werden. Das Erklären und noch mehr das Verstehen reicht aber weit über den mathematischen Formalismus hinaus, weil dazu ein Subjekt benötigt wird, das in diesem Formalismus nicht vorkommt. Alles Erklären ist methodologisch ein partikuläres und immer mit einem gewissen blinden Fleck verbunden. Die Quantenmechanik versucht in der Betrachtung der Vorgänge auf den fundamentalen Ebenen der materiellen Prozesse auf allgemeine Gesetzmäßigkeiten zu schließen, wobei sie weniger objektive Vorgänge in Raum und Zeit zu verknüpfen sucht, sondern sie verknüpft dabei eher Beobachtungssituationen. Auf dieser Ebene sind ihre Wahrheitsbegriffe fundiert und findet ihr Erklären statt. Die mathematischen Symbole, mit denen solche Beobachtungssituationen beschrieben werden, bringen eher das Mögliche zur Darstellung als das Faktische. „Vielleicht könnte man sagen, sie stellen ein Zwischending zwischen Möglichem und Faktischem dar, das objektiv höchstens im gleichen Sinn genannt werden kann wie etwa die Temperatur in der statistischen Wärmelehre.“ (Heisenberg W.: Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik. dtv Verlag München (1991), S. 147).

In diesen Passagen brachte Heisenberg etwas zum Ausdruck, das jenseits dessen liegt, was über die Sprache und begriffliche Eingrenzungen erklärt werden kann. Ja, es scheint durchaus ein Bereich zu existieren, in welchem der Wahrheitsbegriff der Quantenmechanik durchaus mit dem Wahrheitsbegriff der Religionen auf eine geheimnisvolle Weise vergleichbar sein könnte: „In der Naturwissenschaft ist die zentrale Ordnung daran zu erkennen, dass man schließlich solche Metaphern verwenden kann, wie „die Natur ist nach diesem Plan geschaffen“ (Natürlich darf man derartige nicht aussprechen, nur klammheimlich denken). Und an dieser Stelle

ist mein Wahrheitsbegriff mit dem in den Religionen gemeinten Sachverhalt verbunden. Ich finde, dass man diese ganzen Zusammenhänge sehr viel besser denken kann, seit man die Quantentheorie verstanden hat. Denn in ihr können wir in einer abstrakten mathematischen Sprache einheitliche Ordnungen über sehr weite Bereiche formulieren; wir erkennen aber gleichzeitig, dass wir dann, wenn wir in der natürlichen Sprache die Auswirkungen dieser Ordnungen beschreiben wollen, auf Gleichnisse angewiesen sind, auf komplementäre Betrachtungsweisen, die Paradoxien und scheinbaren Widersprüche in Kauf nehmen...“ (Heisenberg W.: Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik. dtv Verlag München (1991), S. 252.).

Damit umreißt Heisenberg einen Übergangsbereich zwischen Physik und Metaphysik, der nur „klammheimlich“ betreten werden kann. Denn es ist ganz offensichtlich und kann nicht übersehen werden, dass im Geltungsbereich der Quantenmechanik ein nebelhafter Bereich existiert, der zwar in einen mathematischen Formalismus eingepasst werden kann, der letztendlich aber unaussprechlich ist und der seiner Tiefe nach sich einem Verstehen auf reduktivem, empirischem Zugang entzieht.

Der Materie ist zudem eine Art eines fernwirkendes Potentials zuzuschreiben, das sich letztlich einer rein physikalischen Ausdeutung entziehen muss. F. Cramer wies infolgedessen der Materie schon a priori die Idee ihrer Selbstorganisation, die Idee zur Entfaltung aller ihrer „Baupläne“ und ihrer möglichen Ausformungen zu.

An dieser und an einer Vielzahl weiterer Stellen begegnen sich Naturwissenschaft und Philosophie bzw. Naturwissenschaft und Spiritualität in einer Weise, wie sie von C. G. Jung einmal formuliert und von E. Schrödinger mit voller Zustimmung bestätigt worden war:

„Alle Wissenschaft jedoch ist Funktion der Seele, und alle Erkenntnis wurzelt in ihr. Sie ist das größte aller kosmischen Wunder und die *conditio sine qua non* der Welt als Objekt. Es ist in einem hohen Grade merkwürdig, dass die abendländische Menschheit, bis auf wenige, verschwindende Ausnahmen, diese Tatsache anscheinend so wenig würdigt. Vor lauter äußeren Erkenntnisobjekten trat das Subjekt aller Erkenntnis zeitweise bis zur anscheinenden Nichtexistenz in den Hintergrund“ (Jung, C. G.: Eranos Jahrbuch 1946. S. 398. Zit. nach: Schrödinger E.: Geist und Materie. Diogenes Taschenbuch Zürich (1989), S. 60).

Ein weiteres Rätsel besteht darin, dass die zu Beginn der Neuzeit und mit der damit verbundenen Entwicklung der modernen Naturwissenschaft als „tot“ bezeichnete physikalische Materie ganz offensichtlich über die Fähigkeit verfügt, sich selbst zu organisieren, eine fundamentale Eigenschaft der Materie von den kleinsten Skalen bis zu der Organisation von Galaxien und Galaxienclustern auf der Ebene des Universums. Diese Materie zeigt bemerkenswerte Ordnungen und strukturiert sich zu immer größeren Mannigfaltigkeiten komplexer Formen und Musterbildungen. Nach Karl Popper besteht das größte Rätsel des Universums darin, „dass das Universum in einem gewissen Sinne kreativ ist“ (Popper, K., Eccles, J. C.: Das Ich und sein Gehirn. München (1982), S. 89). Damit steht ein weiteres Rätsel im Raum: Wenn das Universum tatsächlich als ein kreatives Universum betrachtet werden kann, wozu geht eine solche kreative Potenz hervor?

Nach einem Standardmodell der Physik ist das Universum in Gestalt eines Urknalls entstanden. Zu Beginn müsste einer solchen Urknall-Theorie nach ein solches Universum formlos und von gestaltloser Einfachheit gewesen sein. Die Existenz des heutigen komplex strukturierten Universums mit seiner bemerkenswerten Ordnung dürfte ausschließlich auf der Basis einer Urknalltheorie schwer zu erklären sein.

Wenn das Universum zufällig im Zusammenhang mit einer Quantenfluktuation aus einem ursprünglichen gestaltlosen Zustand entstanden sein sollte, so muss diesem Universum eine ungeheure kreative Potenz zur Selbstorganisation zuerkannt werden, in deren Gefolge im Zusammenhang mit den Naturgesetzen fortwährend Neues entsteht. Diese kreativen Prozesse finden ständig, d.h. bis heute und in alle Zukunft, statt. Deshalb kann das Universum als Prozess, nämlich als Prozess aus einem unfassbar großen kreativen Potential heraus, verstanden werden. Das Universum kann nicht anders als ein kohärentes Ganzes aus einer unübersehbar großen Anzahl von Teilen gesehen werden. Damit müssen aber auch zwangsläufig Fragen nach dem Ursprung von allem und dessen möglichem Sinn auftauchen, die sich einer Klärung auf wissenschaftlicher Ebene entziehen. Dies gilt umso mehr, als die Wissenschaft auf der Ebene der Quantenmechanik mit Phänomenen konfrontiert ist, die sich ganz offensichtlich in Konflikten mit der Vernunft bzw. dem normalen Menschenverstand befinden. Diese Konfliktzonen werden mit Begriffen wie Komplementarität, Nichtlokalität, Verschränkung, Paradoxie, Unentscheidbarkeit, objektiver Zufall und weiteren Begriffen bedacht, die jedoch bisweilen nur als Metaphern für ein grundlegendes Unverstandenes dienen. So ist die Herkunft der sog. Naturkonstanten rätselhaft geblieben, die ja grundlegend für den Aufbau des heutigen Universums sind. Eine wichtige Universalkonstante ist z. B. die sog. Planck'sche Konstante ($6,6 \times 10^{-27}$ erg sec), das kleinstmögliche Wirkungsquantum, kleinere Impulse „existieren nicht“, oder die Lichtgeschwindigkeit (3×10^{10} cm/sec). Heute erkennt die Wissenschaft grundlegende Grenzen ihres Erkenntnisvermögens an, worauf sich die Frage anschließen muss, aus welchem Grund diese Grenzen überhaupt existieren und noch rätselhafter ist die Frage, warum diese Grenzen sich uns in einer seltsam exakt berechenbaren Form darstellen. Was wäre hinter diesen Grenzen zu vermuten?

Die Naturwissenschaft weitet den Bereich ihres Erkenntnisvermögens stetig aus, um dann jedoch immer wieder an neue Grenzen zu stoßen. Das Universum und die Tatsache, dass wir überhaupt existieren, ist eine Seltsamkeit. Damit ist das Nichtberechenbare und Unerkennbare in das Zentrum des modernen naturwissenschaftlichen und naturphilosophischen Denkens gerückt. Was ist hinter dem Schleier des Geheimnisses verborgen? Mit den Mitteln von Objektivität und Determinismus lässt sich diese grundlegende Seltsamkeit der Welt nicht enträtseln, geschweige denn im Sinne eines „Verstehens“ dem Grunde nach.

In den nachfolgenden Passagen wird der Versuch unternommen, einige seltsame Phänomene und begriffliche Metaphern der Naturwissenschaft darzustellen.

1.2 Paradoxien bzw. Unschärfen in den naturwissenschaftlichen Theoriegebäuden

In dem Theoriegebäude der Physik existieren mindestens drei große, fundamentale Unschärfen, die sich in geradezu paradoxer Weise darstellen: Nämlich das Quantenparadox, das Zeitparadox sowie ein kosmologisches Paradox. Zwischen den genannten Paradoxien ist zudem noch eine enge Analogie erkennbar. (Prigogine I., Stengers I.: *Das Paradox der Zeit*. Piper Verlag München Zürich (1993), S.17). Daneben existieren noch weitere, möglicherweise weniger bedeutsame Paradoxien und Dualitäten.

Die grundlegende Gleichung der Quantenmechanik ist die Schrödinger'sche Wellenfunktion, die auf dieser Ebene eine ähnliche Rolle spielt wie die Newton'schen Gleichungen in der klassischen Physik. In der Quantenmechanik tritt eine nach wie vor nicht hinreichend erklärte Doppelstruktur auf, nämlich zum einen die genannte Schrödinger-Gleichung für die kontinuierliche Struktur der Wellenfunktion und andererseits der Zusammenbruch dieser Wellenfunktion beim Messvorgang, der oftmals auch als Kollaps der Wellenfunktion bezeichnet wurde. Auf der Ebene der klassischen Physik nehmen die Objekte zu jeder Zeit einen bestimmten Raum ein und sie haben zu jeder Zeit eine bestimmte Geschwindigkeit bzw. einen bestimmten Impuls, sodass sie sich auf mathematisch genau berechenbaren Bahnen bewegen. Sie folgen, mathematisch gesehen, stetig differenzierbaren Kurven im dreidimensionalen Anschauungsraum. Auf der Ebene der Quantenmechanik sind andere Verhältnisse gegeben:

Hier spielt der dreidimensionale Anschauungsraum, also der Raum unserer Alltagswelt, nur noch eine untergeordnete Rolle. Ort und Impuls eines Objektes sind jetzt inkommensurable Größen geworden: Denn je genauer die Ortskoordinaten eines quantenphysikalischen Objekts bestimmt werden, umso ungenauer werden die Daten bezüglich seines Impulses. Physiker sagen hierzu: Orts- und Impulsoperator kommutieren nicht. Deshalb kann man auf dieser Ebene in den sog. Standard-Interpretationen nicht ohne weiteres von „Bahnen“ sprechen, auf denen sich quantenmechanische Objekte bewegen, vielmehr sprechen Physiker von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten und es ist fraglich, ob in diesen Zusammenhängen überhaupt noch von „Bewegung“ im Sinne der klassischen Mechanik gesprochen werden kann. Wird beispielsweise ein Photon von einer Lichtquelle ausgesendet, so könnte man sich das so vorstellen, dass deren „Bahn“ einer kugelförmigen Wahrscheinlichkeit entspricht, deren Intensität an einem bestimmten Ort die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, dieses Lichtteilchen dort zu finden. Eine solche Herangehensweise wird jedoch in verschiedenen anderen Nichtstandardinterpretationen nicht geteilt, wo das räumliche Geschehen von großer Bedeutung ist (Friebe, C.: *Physikalisch-mathematische Grundlagen*. In: Friebe, C., Kuhlmann, M., Lyre, H., Näger, P. M., Passon, O., Stöckler, M.: *Philosophie der Quantenphysik*. 2. Aufl. Springer Spektrum Verlag Heidelberg (2018), S. 37).

Der Zustandsraum der Quantenmechanik ist der Hilbert-Raum, ein abstrakter Raum, dessen Vektoren und Operatoren nicht in vollem Umfang der physikalischen Realität entsprechen. Hier gewinnen im Gegensatz zur klassischen Physik Interpre-

tationen der Messdaten eine weitaus größere Bedeutung. Objekte im Bereich der Quantenmechanik haben sowohl Teilchen- als auch Wellencharakter. Jedes Teilchen besitzt danach eine Wellenlänge, welche wiederum vom Wirkungsquantum abhängt und die umso größer ist, je kleiner der Impuls eines Teilchen ist. Die zugehörige Wellengleichung für die Wellenfunktion wurde von Erwin Schrödinger formuliert und gilt als die Grundgleichung Ψ der Quantenmechanik. Die Wellengleichung ist aus einem kompletten Satz physikalischer Messgrößen aufgebaut, die sich simultan bei dem beobachteten System bestimmen lassen. Für ein Elektron zum Beispiel beinhaltet ein vollständiger Satz physikalischer Messgrößen den Aufenthaltsort und den Spin des Teilchens. Die Schrödinger-Gleichung liefert unterschiedliche Wellenfunktionen für das Elektron, die den verschiedenen „Bahnen“ des Elektrons um einen Atomkern entsprechen. Das Quadrat der Wellenfunktion Ψ gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, ein Teilchen an einer bestimmten Stelle zu beobachten. Der Messakt selbst führt zu einem definitiven, klassischen Ergebnis und man spricht in diesem Zusammenhang nach der sog. Kopenhagener Deutung von einem Kollaps oder einer Reduktion des Zustandsvektors. Diese Kollapsinterpretation ist allerdings umstritten. Schon 1932 hatte von Neumann den Kollaps als dynamischen Prozess betrachtet, der einer konkreten Änderung der Wellenfunktion in der Realität entspricht. Der dafür notwendige Vorgang der „Dekohärenz“ zeigt, dass klassische Eigenschaften, also empirisch ermittelte Messresultate, einem Objekt nicht von Natur aus innewohnen, sondern erst in den Wechselwirkungsprozessen mit dem Messgerät oder der Umgebung zustande kommen oder durch diese definiert werden. Während sich die Schrödinger-Gleichung unitär in der Zeit entwickelt, tritt im Zusammenhang mit dem Messakt schlagartig Irreversibilität ein. Die Natur einer solchen Doppelstruktur wird bis heute kontrovers diskutiert. Bislang konnten noch keine überzeugenden Erklärungen dafür geleistet werden, was sich genau hinter dem Begriff des Zusammenbruches der Wellenfunktion verbirgt. Ist es der wissenschaftliche Beobachter, der durch seine Messung den Zusammenbruch bewirkt? Das eigentliche Quantenparadox kommt nach Auffassung von einer ganzen Anzahl von Physikern darin zum Vorschein, als im Zusammenhang mit den Erklärungsversuchen eines Kollapses der Wellenfunktion auf irgendeine Weise ein subjektives Element in die vormals streng objektive Beschreibung der Natur eingebracht worden war.

Dieses Paradoxon könnte einem Beobachter, sprich dem menschlichen Bewusstsein im Zusammenhang mit der Reduktion der Wellenfunktion eine ganz zentrale Rolle zuweisen. Messergebnisse sind ja definierte, irreversible Ergebnisse und im Zusammenhang mit dem Messakt ist es zum Auftreten einer Irreversibilität gekommen.

Erstaunlicherweise wäre damit dem Menschen und seinem beobachtenden Bewusstsein in zweifacher Hinsicht ein für die Naturvorgänge grundlegend einwirkendes Momentum zuzuschreiben: Zum einen im Hinblick auf den gerichteten Pfeil einer irreversiblen Zeit und zum anderen im Hinblick auf den Übergang des Potentiellen in die Aktualität des Irreversiblen. Damit könnte dem menschlichen Bewusstsein eine grundlegende Bedeutung für alle Beschreibungen zugewiesen werden, die mit dem Sein und Werden von Ereignissen zusammenhängen.

Im Begriff des Werdens erschließt sich zudem eine für die Naturvorgänge grundsätzliche Kategorie. In der thermodynamischen Physik handelt es sich im Zusammenhang mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik um ein Werden, das den unaufhörlichen Verfallsprozess des Universums bis zu seinem finalen Wärmetod voraussagt. Der von Ludwig Boltzmann formulierte zweite Hauptsatz postulierte die zunehmende Nivellierung aller Unterschiede bis zum Eintreten eines thermodynamischen Gleichgewichts voraus. Einem solchen Postulat stehen jedoch gegensätzliche Entwicklungsperspektiven gegenüber:

So war es Charles Darwin, der die Prozesse des Lebens als Ergebnis eines nie endenden Prozesses der Evolution mit der Entwicklung von einfachen Arten zu höher entwickelten Arten darstellen konnte. Boltzmann versuchte auf seiner Betrachtungsebene, nämlich der Physik, die gleichen Entwicklungsstränge auf einer physikalischen Ebene nachzuvollziehen und geriet dabei in eine Sackgasse. Denn Darwin konnte mit seiner Theorie das Auftreten von neuen Arten durch die Prinzipien von Zufall und Auslese hinreichend erklären, während Boltzmann in seinen Gleichungen dagegen nur eine Entwicklung zu immer größerer Gleichförmigkeit beschreiben konnte und an diesem Paradoxon schließlich scheitern musste.

Die Gesetze in der makroskopischen Welt der Newtonsch'schen Mechanik waren zeitsymmetrisch. Zeitsymmetrische Gesetze können naturgemäß keinen Endzustand markieren, in welchem alles Potential zur Veränderung erloschen wäre. Alle zeitlichen Momente sind im Zustand der Zeitsymmetrie gleichwertig. Die Entwicklung der Thermodynamik und das damit verbundene Prinzip der Irreversibilität war jetzt durch eine gerichtete Zeitstruktur gekennzeichnet, die auch als ein Zeitpfeil bezeichnet werden kann.

So ist zum Beispiel jede chemische Reaktion dadurch gekennzeichnet, dass es in ihrem Ablauf gesetzmäßig zu einem Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft kommen muss. Die Richtung der verschiedenen Reaktionstypen würde auf der Basis des zweiten Hauptsatzes auf einen Gleichgewichtszustand hin tendieren, der in der Zukunft liegt. In abgeschlossenen Systemen gleichen sich Temperaturunterschiede in Richtung auf eine zukünftige Gleichförmigkeit aus. In diesem Zusammenhang wäre eine solche Entwicklung ihrer Bedeutung nach so zu interpretieren, dass sie zum Verschwinden ihrer eigenen Anlässe führt, ein offensichtliches Paradox der Zeit (Prigogine, I., Stengers, I.: *Das Paradox der Zeit. Zeit, Chaos und Quanten.* Piper Verlag München Zürich (1993), S.77. Ganze Literaturstelle hier nicht ersichtlich). Mit der Entwicklung der Thermodynamik und ihrer Prinzipien von Irreversibilität standen auf einmal die Gesetze der Mechanik und der Thermodynamik bezüglich zeitsymmetrischer Gesichtspunkte in einem ganz offensichtlichen Widerspruch zueinander. Dieser Widerspruch wurde schon 1876 durch Loschmidt erkannt und wurde demzufolge als das Paradoxon der Irreversibilität bekannt (Boltzmann, L.: *Vorlesungen über Gastheorie.* Barth Verlag Leipzig. 1910). Dieses Paradoxon schien auch die Vermutung nahe zu legen, dass die beiden Systeme, d.h. das System der Mechanik und das System der Thermodynamik unvollständige Systeme sein müssten. Durch die Einführung der Wahrscheinlichkeitstheorie in die Mechanik gelang es schließlich, diesen Graben zumindest teilweise zu überwinden. Diese Theorie erlaubt es nämlich, mit Mittelwerten zu operieren. Mit Hilfe der statisti-

schen Mechanik ist es möglich geworden, Informationen über die mittlere Energie von Billionen von Molekülen in einem Gas oder einer Flüssigkeit gewinnen, ohne dass man genaue Kenntnis über die Energie eines einzigen Moleküls besitzen würde. Ludwig Boltzmann gelang es eine statistische Interpretation des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik zu liefern. Unter Anwendung der sog. Liouville-Gleichung auf eine große Anzahl von Molekülen in einem Gas konnte er die Werte der Beschreibungsgrößen für ein Gas im Gleichgewichtszustand bestimmen und er erhielt so die Gleichung für die Entwicklung eines Gases, die zeitasymmetrisch ist und die heute als die Boltzmann-Gleichung bekannt ist. Diese Gleichung wird von der sogenannten Einteilchen-Verteilungsfunktion erfüllt, welche die statistische Beschreibung der Bewegung eines einzelnen Moleküls unter allen anderen Molekülen des Gases beinhaltet. Aus dieser Gleichung leitete Boltzmann eine neue Gleichung ab, deren Wert im Verlauf der Zeit abnimmt und die als H-Funktion bekannt ist. Diese H-Funktion ist deshalb von besonderem Interesse, weil sie in komplementärer Beziehung zur Entropie steht, die ja in Richtung auf den Gleichgewichtszustand immer zunehmen muss. Damit ist die Boltzmannsche H-Funktion der Entropie gleich, sie hat nur ein umgekehrtes Vorzeichen. Boltzmann hoffte damit, das Problem der Zeitirreversibilität auf molekularer Ebene gelöst zu haben. Diese Lösung ist ihm nicht gelungen.

Ein drittes Paradox besteht im kosmologischen Paradox:

Zeit ist eine grundlegende Dimension unseres Daseins. Genau betrachtet beginnt die moderne Naturwissenschaft mit der Einbeziehung der Zeit in das theoretische Schema der Newtonschen und Galileischen Physik. Der Prototyp eines universalen Naturgesetzes ist das Newton'sche Gesetz, nach dem die Beschleunigung der Kraft proportional ist. Dieses Gesetz hat zwei grundlegende Merkmale: Es ist ein deterministisches Gesetz, welches besagt, dass die genaue Kenntnis des Anfangszustandes genaue Aussagen über zukünftiges Verhalten zulässt. Zudem handelt es sich um ein zeitreversibles Gesetz. Dieses Gesetz bildete die Grundlage der klassischen Mechanik. Das Paradox besteht jedoch darin, dass der damit verbundene Zeitbegriff in den fundamentalen zeitsymmetrischen Gesetzen der Physik, d.h. von der klassischen Dynamik über die Relativität bis zur Quantenmechanik, keine Richtung aufzeigt. Es wurde schon eingangs vermerkt, dass die moderne Kosmologie am „Anfang“ des Universums ein „Urknallereignis“ unterstellt, ein Ereignis also, das vor ca. 15 Milliarden Jahren stattgefunden haben soll. In den herkömmlichen Formulierungen der Naturgesetze kommen jedoch derartige Ereignisse nicht vor. So haben die Wellenfunktionen der Quantenmechanik als mächtigstes physikalisches Theoriegebäude weder einen Anfang noch ein Ende.

Zudem gilt eine Art von Dualismus und Ungleichheit zwischen Ordnung und Unordnung für das Universum als Ganzes: So kommt auf jedes schwere Teilchen der gewaltige Betrag von 10^8 bis 10^9 Photonen, welche die kosmische Hintergrundstrahlung bilden. Die mit dieser Strahlung verbundene Entropie macht andererseits den weit überwiegenden Teil der gesamten Entropie des Universums aus. Es ist auch empirisch belegt, dass Photonen in einem ganz frühen Zustand des Universums erzeugt wurden. Demnach müsste also die Entropie des Universums ursprünglich sehr hoch gewesen sein. Diese Feststellung steht aber ganz offensichtlich in einem

Widerspruch zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und Boltzmanns Interpretation der Entropie. Denn nach dem zweiten Hauptsatz müsste das Universum am Anfang sich in einem Zustand hoher Ordnung und niedriger Entropie befunden haben. Aus einem solchen geordneten und damit unwahrscheinlicheren Anfangszustand hätte sich das Universum anschließend in Richtung auf den wahrscheinlicheren zukünftigen Zustand hoher Entropie entwickelt. Nach allem was wir heute wissen, verhielt es sich aber so, dass das Universum mit einer explosiven Entropiezunahme begonnen haben musste. Davon leitet sich auch die Frage ab, ob die Entstehung der Elementarteilchen durch eine solche Entropieerzeugung ermöglicht worden war.

Die Urknallhypothese hat nicht zuletzt auch aus diesen Gründen die Physik als Ganzes vor eine große Krise gestellt. Um dieses Paradoxon zu entschärfen, stellte Stephen Hawking die These auf, dass der Urknall nur von rein geometrischem Charakter gewesen sei und „Zeit“ wäre eine „unwesentliche“ Eigenschaft in einem solchen geometrischen Universum. Die kosmologische Zeit wäre dann nichts weiter als eine Illusion. Der in der Relativitätstheorie enthaltene Unterschied zwischen Zeit und Raum könnte darüber hinaus durch die Einführung einer „imaginären“ Zeit eliminiert werden, die als reale Zeit aufzufassen wäre, was aber auch als ein Widerspruch zu bezeichnen wäre. Dennoch hielt es Stephen Hawking für nützlich, die Idee einer imaginären Zeit einzuführen, um auf diese Weise beschreiben zu können, wie die Quantentheorie Zeit und Raum formt. Er verwies in zutreffender Weise darauf, dass das Konzept einer imaginären Zeit durchaus einem wohldefinierten mathematischen Konzept entspricht, und es verhält sich ja auch so, dass der Wissenschaft nur mathematische Modelle zur Verfügung stehen, um mit ihrer Hilfe das Universum beschreiben zu können. Es hat sich, soweit ich das überblicken kann, herausgestellt, dass mathematische Modelle, welche eine imaginäre Zeit in ihren Formalismus einbeziehen, nicht nur Effekte beschreiben können, die bereits beobachtet wurden, sondern darüber hinaus auch solche Effekte, deren Vorhandensein zwar noch nicht direkt gemessen werden konnte, von deren Vorhandensein die Wissenschaft aber fest überzeugt ist. Aus positivistischer Sicht lässt sich seiner Auffassung nach nicht bestimmen, was real ist. Hawking wirft in diesem Zusammenhang eine nachdenkenswerteste Frage auf:

„Also, was ist real/reell und imaginär? Gibt es die Unterscheidung nur in unserem Denken?“ (Hawking, S.: Das Universum in der Nussschale. Deutscher Taschenbuch Verlag München (2003), S. 67).

Ein Gedankengang von großer Tiefe, der einen Brückenschlag vom vermeintlich oder tatsächlich Realen zum Imaginären vorzeichnen könnte. Der Wissenschaft stehen mathematische Modelle zur Verfügung, um das zu beschreiben, was sie für das Reale hält. Ein „Verstehen“ dem Grunde nach dessen, was Realität tatsächlich ausmacht, ist auf der Basis von Modellen nicht möglich. Möglich ist nur ein vorsichtiges und schrittweises Annähern. Durch die Einführung einer imaginären Zeit als einer mathematischen Größe an das Reale kann durchaus eine solche schrittweise Annäherung ermöglicht werden:

So vereinigt Einsteins allgemeine Relativitätstheorie die reelle Zeit und die drei Dimensionen des Raums zu einer vierdimensionalen Raumzeit. Die reelle Zeitrichtung ist dabei von den drei Richtungen des Raums unterschieden. Denn entlang der Weltlinie des Universums kann nach den Überlegungen von Hawking die reelle Zeit nur zu- jedoch nicht abnehmen, dies im Gegensatz zu den Richtungen des Raumes, deren Koordinaten entlang der Geschichte eines Beobachters zu- oder abnehmen können. Führt man eine imaginäre Zeit rechtwinklig zur reellen Zeit ein, so verhält diese sich wie eine vierte räumliche Richtung. Damit würde eine solche zusätzliche Zeitkomponente über ein weitaus größeres Spektrum an Möglichkeiten verfügen als das geradlinige eindimensionale Eisenbahngleis einer reellen Zeit, das nur einen Anfang und ein Ende haben oder kreisförmig verlaufen könne. Damit sei eine Vorstellung naheliegend, dass der Anfang des Universums in imaginärer Zeit ein regelmäßiger Raumzeitpunkt gewesen sein könne, für den die gleichen Gesetze Geltung hatten wie für alle anderen Raumzeitpunkte auch (Hawking, St.: Das Universum in der Nusschale. Dtv Verlag München (2003), S. 67-70). Nach dieser Theorie einer imaginären Zeit hätte das Universum damit weder einen Anfang noch ein Ende.

Prigogine argumentierte dagegen, dass sich aus solchen Überlegungen wiederum die Auflösung eines jeglichen Zusammenhangs zwischen Sein und Werden ableiten ließe und das Universum würde einfach SEIN im Sinne von Parmenides (Prigogine I., Stengers I.: Das Paradox der Zeit. Piper Verlag München Zürich (1993), S. 19). Eine kosmologisch gerichtete Zeit wäre damit nichts weiter als eine Illusion. Dagegen sprechen jedoch ganz augenfällig die an allen Stellen des Universums zu betrachtenden Prozesse mit der Herausbildung von neuen Strukturen und Organisationen. Im Universum ist zudem noch ein weiterer Dualismus zwischen der gleichförmigen Hintergrundstrahlung zu beobachten, die sich ganz offensichtlich in einem Gegensatz zu den hochgradig organisierten Objekten von Sonnensystemen, Galaxien und Galaxienhaufen findet - ganz zu schweigen von der gewaltigen Komplexität des menschlichen Gehirns mit seinen 10^{11} vernetzten Neuronen.

Anhand solcher Beispiele wird ersichtlich, wie sich durch die moderne Wissenschaft Gräben ziehen, die scheinbar oder tatsächlich unüberbrückbar sind. Folgt man den Überlegungen von St. Hawking, so ist es mit Hilfe von Naturwissenschaft und Mathematik nicht möglich, Entscheidungen, d.h. präzise Entscheidungen darüber zu treffen, was real und was imaginär ist. Der Realitätsbegriff kann wissenschaftlich nicht belegt, mit Hilfe der wissenschaftlichen Theorie nur interpretiert werden (Hawking S.: Einsteins Traum. Expeditionen an die Grenzen der Raumzeit. Rowohlt Verlag Reinbek b. Hamburg (1993), S. 61). Um wieviel unwahrscheinlicher kann es dann sein, mit Hilfe dieser Wissenschaft die Rätsel dieser Welt erschöpfend erklären zu können: Woher kommt das Universum? Warum existiert überhaupt etwas? Wo wird das Universum enden? Was ist der Mensch und wohin geht sein Weg? Worin könnte hinter alledem ein Sinn vermutet werden?

1.3 Verschränkung und Nichtlokalität: In der Theorie voraussagbare, jedoch nicht kausal erklärbare fundamentale Charakteristika der Physik

Im Umfeld der Quantenphysik wurden eine Fülle von Fragen aufgeworfen, die für die Philosophie von entscheidender Bedeutung sind, so zum Beispiel Fragen nach den Beziehungen eines Objekts zu seinen Eigenschaften bzw. des Ganzen zu seinen Teilen, Fragen nach einer zeitüberbrückenden Identität, den zeitlichen Veränderungen im Zusammenhang mit Quantensystemen oder auch grundlegende Fragen nach Ursachen und Wirkungen. Schwer lösbare Probleme treten in der Quantenphysik beispielsweise in Gestalt des Messproblems und der damit verbundenen Frage des Zusammenhangs zwischen Mikro- und Makrowelt auf oder im Zusammenhang mit der ontologischen Klärung des Problems der Ununterscheidbarkeit gleichartiger Teilchen.

Ein Beispiel für die Besonderheit von Quantensystemen ist der Spinbegriff, für den es in der klassischen Physik keine Analogien gibt. Der Spin entspricht näherungsweise dem Drehimpuls der klassischen Physik, zeigt jedoch einige davon abweichende Eigenschaften: Unter dem Begriff des Drehimpulses wird nach unserem Alltagsverständnis der Schwung verstanden, mit dem sich ein Körper um seine Achse dreht. Elementarteilchen verfügen außer einem Bahndrehimpuls noch über eine innere Eigenschaft, die sich wie ein Eigendrehimpuls verhält. In der klassischen Physik gibt es kein Analogon dazu. Dieser Eigendrehimpuls ist proportional zum Wirkungsquantum, wobei der Proportionalitätsfaktor nur ganzzahlige oder halbzahlige Werte annehmen kann. Teilchen mit einem halbzahligen Spin werden als Fermionen bezeichnet, Teilchen mit ganzzahligem Spin Bosonen. Zu den Fermionen zählen das Elektron, Proton und das Neutron, während das Photon zu den Bosonen gehört. Der Eigendrehimpuls erzeugt ein magnetisches Moment und weist nur zwei mögliche Werte auf, nämlich Spin-ups und Spin-downs. Zwischenstellungen zwischen diesen Werten sind nicht möglich. Nach dem Formalismus der Quantenphysik trägt keines der Teilchen einen Spin, bevor es gemessen wird. Die Richtung, entlang derer der Spin orientiert ist, ist selbst bei der Aussendung des Teilchens noch nicht festgelegt. Dies ist unabhängig davon, ob der Spin vor der Messung wohldefiniert war oder nicht bzw. in welche Richtung er gezeigt hatte. Erst mit der Messung trägt das Teilchen einen Spin. Der Einfachheit halber wurde jedem Drehimpuls ein Pfeil zugewiesen, der im einfachsten Fall parallel oder antiparallel zur Drehachse orientiert ist. Mit der Länge des Pfeils wird die Größe des Drehimpulses angegeben. Wird eines der Teilchen entlang einer beliebigen Richtung gemessen, so nimmt es zufällig eine der beiden Möglichkeiten, d.h. parallel oder antiparallel zu dieser Richtung an. Hierbei handelt es sich um einen objektiven Zufall. Bei verschränkten Teilchen zeigt der andere Partner immer den genau entgegengesetzten Wert. In Gestalt dieses objektiven Zufalls präsentiert die Quantenmechanik damit etwas völlig Neues, das in der klassischen Physik keine Entsprechung hat. Nur die Messung an einem Teilchen legt automatisch den Zustand eines anderen Teilchens fest, wobei die Entfernung dieser Teilchen voneinander keine Rolle spielt. (Zeilinger, A.: *Einsteins Schleier. Die neue Welt der Quantenphysik*. C.H. Beck Verlag München (2005), S. 71-72). Der

Spin eines Teilchens ist also bis zur definitiven Messung unbestimmt und die Messung an einem Teilchen bestimmt das Messergebnis an seinem Partner. Diese Messergebnisse sind zu 100% korreliert. Im Zusammenhang mit diesem Phänomen hatte E. Schrödinger den Begriff der „Verschränkung“ eingeführt und er wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es sich hierbei um ein wesentliches Charakteristikum der Quantenphysik handelt. Es handelt sich also um zwei zufällige Prozesse, die über große Entfernungen miteinander zusammenhängen. Albert Einstein hatte in diesem Zusammenhang von einer „spukhaften Fernwirkung“ gesprochen und er hatte gehofft, für dieses Phänomen eine tieferliegende Erklärung finden zu können (Zeilinger A.: Einsteins Schleier. Die neue Welt der Quantenphysik. C.H. Beck Verlag München (2005), S.72).

Im sog. Stern-Gerlach-Experiment kann der Spin gemessen werden. Im Jahre 1922 hatten Otto Stern und Walther Gerlach einen Strahl von Silberatomen erzeugt und diesen Strahl anschließend durch ein Magnetfeld geleitet. In einem inhomogenen Magnetfeld erfahren die Spins, die, wie besprochen, ein kleines magnetisches Moment tragen, eine Kraft und erfahren je nach ihrer Orientierung eine Ablenkung. Silberatome sind zwar elektrisch neutral. Das Valenzelektron des Silberatoms zeigt aber eine zusätzliche Eigenschaft, die sich wie ein Eigendrehimpuls verhält. Stern und Gerlach beobachteten eine Aufspaltung des Silberdampfstrahles, sodass am Schirm zwei voneinander getrennte Silberflecken auftraten. Dies deutete darauf hin, dass ein magnetisches Moment zwei diskrete Einstellungen hatte und daraus leitete sich die Folgerung ab, dass die Teilchen eine bis dahin unbekannte Eigenschaft aufwiesen, die sich wie ein Eigendrehimpuls verhält, der das magnetische Moment erzeugt und nur zwei Werte aufweisen kann: Spin-up und Spin-down (Friebe, C.: Physikalisch-mathematische Grundlagen. In: Friebe, C., Kuhlmann, M., Lyre, H., Näger, P. M., Stöckler, M.: Philosophie der Quantenphysik. Springer Spektrum Verlag Berlin (2018), S. 5). Die quantenmechanische Besonderheit liegt wiederum darin, dass die Spins, die vorher eine beliebige Anordnung hatten, beim Durchtreten durch das Magnetfeld parallele oder antiparallele Richtungen aufweisen. Heute kennt man Situationen mit mehr als zwei möglichen Aufteilungen im Sinne einer mehrfächrigen Aufspaltung im inhomogenen Magnetfeld. 1943 erhielt Otto Stern den Nobelpreis für seine Entdeckung des Elektronenspins.

In der Quantenphysik werden die Zustände von zusammengesetzten Systemen nicht durch die Produktzustände, sondern durch Superpositionen von Produktzuständen, d.h. im Rahmen von verschränkten Zuständen, beschrieben. Sind also zwei Systeme, beispielsweise Systeme von Photonenpaaren, einen solchen Verschränkungszustand eingegangen, so bedeutet dies, dass vor einer Messung keinem der beteiligten Systeme bestimmte Eigenschaften, beispielsweise ein Spinzustand Spin-up oder Spin-down zugeschrieben werden kann. Den beiden Teilsystemen kann auch kein irgendwie gearteter Überlagerungszustand zugeordnet werden. Der Gesamtzustand des Systems legt die Zustände der Teilsysteme nicht fest. Messungen der Polarisationsrichtungen an den Teilsystemen ermitteln per Zufall ein Ergebnis für Spin-up oder Spin-down. Da die in Korrelation stehenden Teilchen keine unabhängige Existenz voneinander haben, so legt das Messergebnis an einem Teilchen gleichzeitig das Messergebnis an dem anderen Teilchen fest. Die beiden Teilchen,

z.B. die genannten Photonenpaare, haben somit quantenmechanisch betrachtet, keine unabhängige Existenz voneinander. Die Festlegung des Spinzustandes an dem jeweils anderen Teilchen erfolgt auch nicht über eine Informationsübertragung denkbar größter Geschwindigkeit, vielmehr ändert sich bei der Messung an einem Teilchen sofort der quantenmechanische Zustand des jeweils anderen Teilchens. Es ist damit die Messung eines Zustandes an einem Teilchen, welche den Zustand des jeweils anderen Teilchens festlegt. Die verschränkten Teilchen stellen ein gemeinsames System dar, sodass eine Informationsübertragung, von welcher Art auch immer, nicht stattfinden muss. Damit handelt es sich um nichtlokale Quanteneffekte. Aus diesem Grunde sind quantenmechanische Systeme weitaus stärker korreliert als klassische Systeme. (Näger, P. M., Stöckler, M.: Verschränkung und Nicht-Lokalität: EPR, Bell und die Folgen. In: Friebe, C., Kuhlmann, M., Lyre, H., Näger, P. M., Passon, O., Stöckler, M.: Philosophie der Quantenphysik. Springer Spektrum Verlag Berlin (2008), S. 108). Verschränkungszustände beinhalten somit einen spezifischen Zusammenhang zwischen den Teilsystemen jenseits von raumzeitlichen Beschränkungen. Solche für den Bereich der Quantenmechanik typischen Verschränkungszustände erzwingen nach E. Schrödinger eine entscheidende Abweichung von der klassischen Denkweise (Schrödinger E. (1935b). Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik. Die Naturwissenschaften 23, 807-812, 823-828, 844-849, S. 555).

1935 schlugen Albert Einstein, Boris Podolsky und Nathan Rosen ein Gedankenexperiment vor, das als „EPR-Paradoxon“ in die Geschichte eingehen sollte und das zum Ausgangspunkt einer Vielzahl von experimentellen Untersuchungen im Zusammenhang mit derartigen verschränkten Zuständen werden sollte. (Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N. (1935): Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete? Physical Review 47, S. 777-780).

Bohr und Einstein führten seinerzeit eine intensive Diskussion über den Status der Quantenmechanik. Einstein wollte zeigen, dass die Quantenmechanik unvollständig sei, d.h. dass in der Realität Eigenschaften vorliegen, für die es in der Theorie keine Entsprechungen gibt. Er wollte den Nachweis erbringen, dass physikalische Parameter, wie Ort und Impuls gleichzeitig präzise messbar seien, was nach der Heisenberg'schen Unschärferelation jedoch nicht möglich ist. Denn die Quantenmechanik kann einem System entweder nur einen scharfen Impuls oder einen scharfen Ort zuschreiben, nicht jedoch beides gleichzeitig. Damit ist ein zentrales Problem der Quantenmechanik angesprochen, nämlich die grundlegende Frage, ob die Quantenmechanik alle über ein Teilchen vorhandenen Informationen tatsächlich erfasst. Oder könnte es sich möglicherweise auch so verhalten, dass ein Quantenteilchen über ganz bestimmte lokale innere Eigenschaften verfügen könnte, welche die Quantenmechanik nicht erfassen kann. Dies hätte dann zur Folge, dass es mit der Quantenmechanik nur möglich ist, Wahrscheinlichkeitsaussagen zu formulieren. Einstein war der Überzeugung, dass die Wellenfunktion keine vollständige Beschreibung der physikalischen Realität liefern würde und suchte deshalb nach Belegen dafür, dass die Quantenmechanik unvollständig ist, d.h. dass mit dem Formalismus der Quantenmechanik nicht alle in der physikalischen Realität vorhandenen Phänomene bzw. Eigenschaften beschrieben werden können: Denn analog der Heisenberg'schen Unschärferelation können ja Ort und Impuls eines

Teilchens, obwohl gleichzeitig vorliegend, nicht gleichzeitig scharf definiert werden. Nur dann und in dem Falle, wenn diese Eigenschaften klar definierten Werte aufweisen, könnten die quantenmechanischen Prozesse deterministisch gedacht werden und die scheinbar nicht-lokalen Prozesse beim Kollaps der Wellenfunktion könnten als Erkenntnisprozesse, statt als reale physikalische Prozesse verstanden werden. Im Umfeld dieser Probleme tauchte die Frage nach so genannten „verborgenen Variablen“ auf, die mit dem Formalismus der Quantenmechanik nicht erfasst werden könnten. John Stewart Bell veröffentlichte 1964 eine richtungweisende Arbeit über das Phänomen der Nicht-Lokalität, welche kennzeichnend für Quantenprozesse ist. (Bell, J. (1964): On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox. *Physics* 1(3), S. 195-200). Er gab darin seiner Erkenntnis Ausdruck, dass sich physikalische Systeme selbst dann noch gegenseitig beeinflussen können, wenn sie so weit auseinander liegen, dass sie nur mit Überlichtgeschwindigkeit verbunden werden können. Auf seine experimentelle Herangehensweise wird weiter unten etwas genauer eingegangen werden. Es zeigt sich somit ein Widerspruch zwischen der lokalen Welt der makroskopischen Objekte, die uns umgeben und der Quantenwelt. Eine Betrachtung der Welt ausschließlich auf der Basis einer lokalen Weltsicht bleibt damit unvollständig, eine für die Naturphilosophie grundlegende Erkenntnis von großer Tragweite. Der Widerspruch zwischen klassischer und quantenmechanischer Weltsicht kommt vor allem auch darin zum Vorschein, dass aus der klassischen lokalen Weltsicht eine obere Grenze für die Stärke von Korrelationen zwischen Objekten abgeleitet werden kann. Diese obere Grenze wird aber durch die Messergebnisse aus Experimenten mit verschränkten Quantenobjekten eindeutig überschritten. Daraus lässt sich somit ableiten, dass es die lokale klassische Weltsicht sein muss, die mindestens eine nicht haltbare Annahme enthält, nämlich die Annahme der Lokalität (Näger, P. M., Stöckler, M.: Verschränkung und Nicht-Lokalität: EPR, Bell und die Folgen. In: Friebe, C., Kuhlmann, M., Lyre, H., Näger, P. M., Passon, O., Stöckler, M.: *Philosophie der Quantenphysik*. Springer Spektrum Verlag Berlin. 1. Aufl. (2018), S. 109). Bell war zudem davon überzeugt, dass die Phänomene verschränkter Systeme selbst unter der Annahme unbekannter, „verborgener Variablen“, d.h. verborgener Informationen, nicht durch lokale Prozesse erklärt werden können.

Die Quantenmechanik ist bis zum heutigen Tag in der Lage, eine vollständige Beschreibung der Naturvorgänge zu liefern. Sie ist in der Lage, die durch Verschränkung hervorgerufenen Korrelationen vorauszusagen, sie ist jedoch nicht in der Lage, ihr Zustandekommen im üblichen Sinne kausal erklären zu können (Näger, P. M., Stöckler, M. Verschränkung und Nicht-Lokalität, Bell und die Folgen. In: Friebe C., a.a.O, S. 109). Bezüglich des ontologischen Status von Teilchen auf Quantenebene und ihrer Phänomenologie ist die Quantenphysik somit auch nicht in der Lage, ein konsistentes Weltbild zu präsentieren.