

Eine kurze Einführung in die Magie der Quantenphysik und ihre Rätsel

Da diese Verschriftlichung für das breite Spektrum an beteiligten Disziplinen von Pro Scientia angepasst sein soll, werden folgende Erläuterungen keinen Gebrauch zu spezifischer oder zu detaillierter Erklärungen bieten, wenngleich die sehr komplexe Thematik nicht ohne ein gewisses Pensum an Fachjargon auskommt. Die Thematik soll sowohl mein Hauptstudium Theoretische Quantenphysik als auch mein Zweitstudium Theologie zu einem gewissen Grad abdecken und daher habe ich mich für einen Kompromiss entschieden, der sowohl für Naturwissenschaftler als auch für Geisteswissenschaftler bereichernd sein soll.

Im Titel des Referates kommt der Begriff Rätsel vor und dies mit bedacht, da im vorgestellten Rätsel auch nach wie vor rätselhaft sind. Selbst Koryphäen auf dem Gebiet der Quantenphysik haben noch keinen Konsens zu diesen Themen gefunden und die Interpretationen divergieren teils stark. Sie setzen unser Alltagsverständnis einer Zerreißprobe aus und die Inhalte wirken stark unintuitiv, ein Mitgrund, wieso sie so kontrovers diskutiert werden. Das Reflektieren über derartige Problemstellungen bringt aber Fortschritt mit sich. In manchen Fällen weisen sie uns auf, dass wir die zugrundeliegenden Prozesse und Phänomene noch nicht ausreichend verstanden haben und in anderen Fällen konstatieren sie, dass sich die Natur beziehungsweise die Realität, in der wir leben, nicht immer so simpel zeigt, wie wir es gerne hätten.

Höchstwahrscheinlich werde ich mehr Fragen aufwerfen, als ich zu beantworten vermag und mehr Verwirrung stiften, als ich Gedankenknoten löse. Über jeden der Abschnitte könnte man getrost Stunden voller Diskussionen und Darlegungen füllen. Dieses Dokument soll daher als Crash-Kurs und Teaser für das eigene Interesse dienen und den Blick über den eigenen Tellerrand ermöglichen beziehungsweise den eigenen Horizont ein Stückweit erweitern.

Ich werde eine kurze Einleitung in den Bereich der Quantenphysik geben und darlegen, was wir überhaupt unter dem Konzept der Quantenphysik verstehen. Anschließend werde ich eine Auswahl an Rätseln darstellen, welche sich aus der Formulierung der Quantenphysik ergeben. Das Kapitel im Anschluss beschäftigt sich mit dem Verhältnis der physikalischen Theorien des Makrokosmos und jener des Mikrokosmos. Zuletzt behandle ich kurz einige physikalische Implikationen für den Bereich der Philosophie und/oder den Bereich der Physik, die als Anknüpfungspunkte sehr verschiedener akademischer Metiers mit ihren eigenen methodologischen Rahmen.

Entgegen dem Spruch „Lasse die Geschichte ruhen“, kann es sehr fruchtbringend sein, einen kurzen zeitlichen Abriss hinsichtlich des physikalischen Paradigmenwechsels um die Jahrhundertwende des 20. Jahrhunderts zu betrachten. Dies soll von der Frage getragen sein: „Was sind eigentlich diese komischen Quanten?“ Erste experimentelle Befunde wiesen Lücken im Verständnis und in den physikalischen Theorien/Modellen auf. Beispielsweise kann man das Linienspektrum, das eine Simple Gegenüberstellung der Intensität des einfallenden Lichtes über dem Parameter der Wellenlänge ist, einer Quecksilberdampf Lampe im Raum betrachten. Durch die klassische Physik konnten weder die Position von Intensitäts-Maxima, noch die Position der Intensitäts-Maxima zueinander erklärt werden, welche angeben, in welchen Wellenlängenbereichen/Frequenzbereichen Licht abgegeben wird. Auch das

kontinuierliche Spektrum der Sonne, welches wir als weiß wahrnehmen und viele verschiedene Wellenlängen beinhaltet, wurde nicht hinreichend durch die physikalischen Modelle beschrieben. Man landete entweder bei sehr großen Wellenlängen (Infrarot-Katastrophe) oder bei sehr kleinen Wellenlängen (Ultraviolett-Katastrophe) zu unendlichen Werten. Dies ist für Physiker meist unbefriedigend, da es meist darauf hinweist, dass man den Sachverhalt noch nicht zur Genüge verstanden hat. Durch die Theorie der Quantenphysik konnten die zu Tage tretenden Phänomene schließlich erfolgreich erklärt werden.

Der zweite experimentelle Befund am Beginn des Leidensweges zur Formulierung der Quantenmechanik (ein veralteter Begriff für den weiter gefassten Begriff Quantenphysik) ist der sogenannte photoelektrische Effekt. Dieser verhalf Albert Einstein 1921 zum Nobelpreis, entgegen der verbreitenden Annahme, er habe ihn für seine Formulierung der Relativitätstheorie verliehen bekommen. Der experimentelle Aufbau lautet wie folgt: Ein Material, beispielsweise ein Metall, mit gebundenen Elektronen wird mit Licht bestrahlt. Ist die Wellenlänge des einfallenden Lichtes hinreichend hoch, was bedeutet, dass das Licht wenig energiereich ist, passiert zunächst nichts. Wählt man sukzessive kürzere Wellenlängen, so wird ab einer bestimmten Wellenlänge ein Elektron aus seinem Verbund mit dem Metall herausgelöst. Ein Photon (das Lichtteilchen) wird absorbiert und die betrachteten Energien werden in Form von Paketen – daher der Name Quanten – abgegeben. Die Energien werden immer in einem Vielfachen einer Naturkonstante (h) abgegeben, kein halbes Photon löst ein Elektron heraus und es handelt sich somit nicht um einen kontinuierlichen Löseprozess, sondern um einen diskreten – es handelt sich um eine Quantelung/Quantisierung (der Energie). Ganz allgemein kann man auch sagen, dass all jene Objekte, die hinreichend klein sind, um den Gesetzen der Quantenphysik zu obliegen, als Quanten bezeichnet werden können. Ein Quantensprung ist somit nicht wie üblich in der landläufigen Formulierung verwendet etwas Großes, sondern im Gegenteil etwas sehr kleines, jedoch kommt ein fundamental neuer Prozess im Kontrast zur Alltagsphysik zu tragen und ist daher dennoch stimmig.

Nach den experimentellen Errungenschaften ließen die theoretischen Physiker nicht lange auf sich warten, bis die experimentellen Daten auch durch solide physikalische Modelle und Theorien begründet und erklärt wurden. Ein Beispiel dafür wäre ein neues Atommodell, in dem nicht wie zuvor gedacht, das Elektron ähnlich eines Planeten um dessen Gestirn um den Atomkern kreist, sondern das Orbital entspricht einer Wolke, welche auf gewisse Bereiche beschränkt ist und eine genaue Lokalisation des Elektrons ist nicht von vornherein bekannt.

Ein weiterer Beweis für den rasanten Fortschritt der Theoretiker spiegelt sich im immer weiter verbesserten Standard-Modell der Teilchenphysik wider. Ein Feynman-Diagramm repräsentiert beispielsweise eine Wechselwirkung, somit eine Interaktion wie einen Zusammenprall, verschiedenster atomarer oder subatomarer Partikel, die aneinander streuen, sich teilweise ineinander umwandeln und wieder voneinander wegstreuen. Abgesehen von virtuellen Partikeln oder dem metaphysisch interessanten Aspekt der Umwandlung in andere Teilchen-Spezies ist auch der Aspekt von Antimaterie ein weiterer interessanter Aspekt der modernen, gewachsenen Physik. Die Antimaterie verhält sich nämlich wie normale Materie, welche sich in der Zeit rückwärts fortbewegen und der mathematische Formalismus und auch die experimentellen Daten widersprechen auch nicht

dieser kontroversen Sicht der Dinge beziehungsweise der Art und Weise, wie sich uns die Natur präsentiert.

Die Größenordnung, in welcher sich die Quantenphysik abspielt ist sehr unterschiedlich zu jener, in der relativistische Effekte zu tragen kommen. Im Bereich der Relativitätstheorie, wo meist quantenphysikalische Aspekte irrelevant für die physikalische Betrachtung sind, sind Maßstäbe vom Kilometerbereich bis hin zur Größe des observierbaren Universum interessant – somit 10^{27} Metern. Im Regime der Quantenphysik, wo die Relativitätstheorie irrelevant erscheint, sind Größenordnungen von bis zu 10^{-35} präsent. Jenseits dieser sogenannten Planck-Skala brechen alle jetzigen physikalischen Theorien zusammen. Grob gesprochen deckt dies den Bereich von Kristallen mit einer Größe von einem Hundertstel Meter, welche aus Molekülen, Atomen, Atomkernen, Protonen und Neutronen sowie den noch kleineren Konstituenten – den Quarks – zusammengesetzt sind. Noch spannender ist jedoch jener Bereich zwischen den beiden Extremen, in der mit noch präziseren Messmethoden sowohl Quanteneffekte als auch relativistische Effekte nachweisbar sind. Im Moment werden bereits Viren verschränkt und Bärtierchen werden versucht, über schwingende Membranen in eine Superposition verschiedener Zustände zu bringen – ein schwer zu fassender Aspekt, der dennoch bald Status-Quo werden könnte.

Ohne mit dem Alptraum vieler Menschen quälen zu wollen, kommt man nicht gänzlich ohne ein gewisses Pensum an Mathematik aus. Die Schrödinger-Gleichung, aufgestellt und entwickelt von einem Österreicher, lautet in der simpelsten Formulierung $H\psi = E\psi$, welche für Fortgeschrittene durchaus komplexer ausgeführt werden kann. Das ψ steht hierbei für eine sogenannte Wahrscheinlichkeitsamplitude, da wir im Bereich der Quantenphysik mit Funktionen rechnen, welche Wahrscheinlichkeiten beschreiben. Die Teilchen haben eine bestimmte Wahrscheinlichkeit, in bestimmten Bereichen im Raum auffindbar zu sein. Dennoch ist dieses mathematische Konzept deterministisch, was bedeutet, dass diese besagten Wahrscheinlichkeitsamplituden der Teilchen – die Wellenfunktionen – über die Zeit eindeutig berechenbar sind. Ein weiterer dem Alltagsverständnis widerstrebende Effekt dieser Formulierung ist der sogenannte Tunneleffekt. Im Bereich der klassischen Physik macht es nur Sinn, durch eine Wand brechen zu wollen, wenn man mehr Energie aufwenden kann, wie die Wand als Widerstand entgegenwirkt, denn ansonsten prallt man ab. Die quantenphysikalischen Teilchen haben jedoch trotz geringerer Energie als eine bevorstehende Potentialbarriere eine endliche Wahrscheinlichkeit, hinter der Potentialbarriere auffindbar zu sein. Dieser Effekt ist belegt und eine Grundlage für die Halbleiterphysik (beispielsweise Smartphones) oder Photovoltaik-Zellen.

Eine zweite ausgewählte mathematische Formel ist die sogenannte Heisenbergsche Unschärferelation, welche besagt, dass die Ungewissheit des Ortes mal der Ungewissheit des Impulses (und somit der Geschwindigkeit) größer gleich h (Planck'sches Wirkungsquantum) geteilt durch 4π ist. Dies bedeutet, dass selbst bei genauer Kenntnis des Ortes oder der Geschwindigkeit eines Teilchens, keine Aussage über die Geschwindigkeit oder des Ortes getätigt werden kann – man hat buchstäblich keine Information darüber. Dies ist jedoch ein Phänomen, welches auch aus der klassischen Wellenphysik bekannt ist, und beobachtet werden könnte, wenn wir in der Badewanne die Wellenfronten des Wassers durch ein Hindernis durch verfolgen. Auch hier greift die Unschärfe-Relation durch.

Die Chaos-Theorie ist ein weiterer Vertreter einer mathematischen Formulierung unserer Wirklichkeit, welche weitreichende Konsequenzen mitsichbringt, da im Prinzip der bekannte Schmetterlingsflügel Schlag einen Tornado auf der anderen Hemisphäre auslösen kann. Sind die zugrundeliegenden Prozesse nur hinreichend komplex (nichtlinear), benötigt man sehr präzise Anfangsbedingungen, um über längere Zeit erfolgreich die Zukunft vorherberechnen kann. Ein Grund, warum die Wettervorhersagen oft mehr schlecht als recht sind. Aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation ist die genaue Vorhersage ohnehin nie zur Gänze möglich.

Das erste quantenphysikalische Rätsel, welches eine Konsequenz der neuen und umfassenderen physikalischen Theorie der Materie ist und ich vorstellen will, lautet das Doppelspalt-Experiment. Dieses ist inhärent gekoppelt mit dem sogenannten Welle-Teilchen-Dualismus. Der Versuchsaufbau ist wie folgt: Eine Quelle schießt Teilchen wie Photonen oder Elektronen in Form eines Strahles aus einer Öffnung. Diese werden auf eine Metallplatte gelenkt, welche zwei Spalte aufweist. Wird ein Spalt geschlossen, so fliegen die Teilchen hindurch auf ein Display und ein Intensitäts-Maximum erscheint am Schirm/Display an jenem Ort, wo die Teilchen auftreffen und detektiert werden. Ist der andere Spalt offen, so ist das Intensitäts-Maximum ein Stück weit verschoben zu sehen. Nach der klassischen Physik würde man erwarten, dass bei beiden geöffneten Spalte die Teilchen derart durch die Spalte fliegen, dass zwei nebeneinander angeordnete Intensitäts-Maxima zu sehen sind.

Die Realität zeigt uns jedoch ein anderes Bild. Da die Teilchen nicht nur die Charakteristika von Objekten als Teilchen aufweisen, sondern auch jene von Wellen, wandern die sehr kleinen Teilchen durch beide Spalte zugleich, wechselwirken mit sich selbst und gegebenenfalls auch mit den weiteren Teilchen, was durch die Welleneigenschaften in einem Interferenzmuster resultiert. Das Resultat ist ein Interferenzmuster am Schirm, an denen die Teilchen aufscheinen beziehungsweise detektiert werden. Dieser Effekt ist deshalb noch rätselhaft, da noch nicht hinreichend geklärt ist, welche Auswirkung ein Beobachter in diesem Experiment inne hat. Misst man nämlich das Teilchen beim Passieren durch einen Spalt, so kennt man die Trajektorie des Teilchens und das Interferenzmuster verschwindet. Inwieweit das Objekt gestört werden muss beziehungsweise wie der Messprozess explizit vollzogen werden muss, um das Interferenzmuster zu verhindern, ist auch unter Experten nach wie vor ungeklärt.

Ein weiteres Rätsel der heutigen Zeit ist der Wellen-Kollaps, der mit dem zuvor genannten singulären Messprozess zusammenhängt. Die Teilchen, beschrieben durch die Wahrscheinlichkeitsfunktion, können mit einer 50%-igen Wahrscheinlichkeit nach rechts und mit einer 50%-igen Wahrscheinlichkeit nach links propagieren. Misst man das Teilchen jedoch an einem Ort und detektiert es, so kann man den Ort und der zweite Teil dieser Wellenfunktion verschwindet instantan – er kollabiert. Manche stellen sich in diesem Zeitpunkt eine Aufspaltung unserer Realität in zwei gleichberechtigte Stränge vor, andere denken, wir haben noch kein hinreichendes Verständnis oder Formulierung dieses Vorganges.

Ein sehr populäres Gedankenexperiment bedient sich der Diskrepanz zwischen den Erkenntnissen des Mikrokosmos und des Makrokosmos und will augenscheinlich machen, dass diese nicht immer simpel ineinander übergehen. Dieses wird mit Schrödingers Katze betitelt. Eine radioaktive Quelle weist nach einer gewissen Zeit ein Teilchen auf, welches mit einer 50% Wahrscheinlichkeit zerfallen ist und mit 50% Wahrscheinlichkeit nicht zerfallen. Ist das Teilchen zerfallen, so löst es einen mechanischen Mechanismus aus, der über einen Hammer

eine giftige Ampulle zerstört, welche die Katze tierunfreundlich tötet. Blickt man nicht in den Raum dieser Apparatur, so haben wir kein Problem, das Teilchen als einen sogenannten verschränkten Zustand von „Zerfallen“ und „Nicht Zerfallen“ anzusehen, was vielfach bestätigt wurde, doch eine Katze ist schwer in einer Superposition von „Lebendig“ und „Nicht Lebendig“ vorstellbar. Dies läuft unter anderem unter dem Phänomen der Dekohärenz, welches quantenphysikalische Prozesse nicht auf großer Skala aufscheinen lässt. Auch dem Mythos, dass wir diese Verschränkung im großen Maßstab im Alltag für uns nutzen können (abseits von Maschinen wie dem erwachsen werdenden Quantencomputer) sei in den Bereich der Esoterik verbannt.

Noch unintuitiver und dem Alltagsverständnis widerstrebender ist das Rätsel um das EPR-Paradoxon, wobei der Buchstabe „E“ für Einstein steht, ein mitwirkendes dieses Gedankenexperiment, der meist bei derartigen schwierig zu verstehenden Problemen dabei war. Nebenbei angemerkt wurde diesbezüglich meist ein philosophisch anmutender Briefverkehr initiiert, um den Gedankenknoten sukzessive aufzulösen oder im Worst-Case-Szenario noch zu verschlimmern. Eine Quelle liefert paarweise Teilchen, welche in einem verschränkten Zustand zwischen „Spin up“ und „Spin down“ vorliegen und in unterschiedliche Richtungen ausgesendet werden. Ein Magnetfeld misst diese Richtung des intrinsischen Drehimpulses und wir erkennen eine 50%-ige Wahrscheinlichkeit, dass dieser Spin nach oben zeigt und eine 50%-ige Wahrscheinlichkeit, dass der Drehimpuls nach unten zeigt. Ähnlich bei einem Wurf mit einer Münze gemäß „Kopf“ oder „Zahl“. Klassischerweise hätte man aber an beiden Detektoren diese 50%-Chance, „Kopf“ zu messen. Der Messprozess des einen Teilchens hat jedoch eine Auswirkung auf den Messprozess am zweiten Teilchen und wir wissen automatisch, wie der Spin des anderen Teilchens orientiert ist. Dieser Informationsaustausch geschieht instantan und zwar über beliebige Distanz, selbst wenn ein Messapparat auf dem Mond und der zweite auf einem entfernten Stern liegen würde. Dies widerspricht dem Prinzip der Relativität, in dem sich nichts (außer der Raum an sich) mit einer höheren Geschwindigkeit als Licht im Vakuum bewegen kann. Dieses auch als spukhafte Fernwirkung bekannte Phänomen würde bedeuten, dass entweder eine der folgenden Optionen zwangsweise falsch sein muss: Die Quantenphysik ist nicht vollständig, die Relativitätstheorie ist noch nicht richtig oder wir leben in einer nicht realen Welt (in der die Gleichungen nicht die Wirklichkeit repräsentieren). Keine der Optionen ist im Moment vorzuziehen oder zumindest als befriedigend anzusehen und das Konzept der sogenannten versteckten Variablen (von Einstein angenommen) ist auch kein Ausweg aus dem Dilemma. Die Teilchen scheinen durch ein unsichtbares Band über beliebige Distanzen verbunden zu sein (die erste Variante erscheint als plausibel). Für einen praktischen superluminalen (überlichtschnellen) Informationsaustausch-Kanal taugt dies leider aufgrund der physikalischen Gesetze nicht.

Wie verhalten sich nun die physikalischen Theorien des großen Maßstabs zu jenen des kleinen? Die spezielle Relativitätstheorie weist für sich alleine bereits interessante physikalische Aspekte wie die Zeitdilatation und die Längenkontraktion auf. Ersteres beschreibt, dass für schnelle Objekte die Zeit langsamer vergeht, letzteres zeigt die Verkürzung von Objekten in Bezug auf ein Inertialsystem, das sich langsamer relativ dazu bewegt. Neben der berühmten Formel $E=mc^2$ ist die Konsequenz, dass sich nichts schneller als Licht im Vakuum bewegen kann. Ein interessantes Gedankenexperiment beschreibt den

Versuch, einen 10m Barren in einer 9m Scheune zu verstauen. Wenn man sich jedoch wie bewiesen vom Mythos der Gleichzeitigkeit absagt, scheint alles mehr oder weniger geklärt und ein Resultat dieses mathematischen Formalismus ist die Quantenfeldtheorie, die die Quantenphysik mit der speziellen Relativitäts-Theorie erfolgreich verbindet.

Schwieriger ist die Verbindung der allgemeinen Relativitäts-Theorie, welche die Zeit-Koordinate wie eine der nicht kompaktifizierten Raum-Koordinaten ansieht, mit der Quantenphysik. Die allgemeine Relativitätstheorie beschreibt geometrisch, wie Objekte das vierdimensionale Raum-Zeit-Kontinuum krümmen und andere Objekte die kürzesten Strecken in diesem folgen (den Geodäten). Sehr komplexe Theorien wie die String-Theorie oder die Quanten-Schleifen-Gravitation versuchen die sehr verschiedenen Theorien miteinander zu verbinden. Würde der noch ausgebliebene Erfolg verzeichnet werden, sprechen eine von der „Theorie von Allem“ und viele Ressourcen werden diesbezüglich im Moment auch dafür aufgewendet. Da der Bereich, in welchem beide Theorie-Gebäude gleichzeitig observierbar sind, sehr schmal ist, scheint das Unterfangen schwierig, aber nicht unmöglich.

Es gibt viele Hypothesen, welche eine Vielzahl von parallel existierenden Universen neben unserem Universum postulieren und manche bedienen sich auch der Quantenphysik. Teilweise weisen die zugrundeliegenden Theorien eine unendliche Anzahl an Universen voraus (im zeitlichen Bereich des Urknalles verhielt sich auch das gesamte Universum quantenphysikalisch), doch aufgrund der Beweislage verschiebt sich der Gedanke von vielen unterschiedlichen Welten mit teils sehr unterschiedlichen physikalischen Bedingungen von hässlich und unsinnig hin zu nurmehr hässlich, wenngleich Schönheit im Auge des Betrachters liegt und auch als Schön in dem Sinne anzusehen sein kann, dass dies ähnlich der Verschiebung der Erde aus dem Zentrum des Universums erneut eine großartige Wirklichkeit offenbart. Verbunden ist das Konzept der Viele-Welten-Theorie mit dem sogenannten Anthropischen Prinzip, welches in einer schwachen und einer starken Formulierung existiert. Dass die Welt so beschaffen ist, dass wir sie wahrnehmen können als Beobachter ist eher trivial. Die stärkere Form beschreibt jedoch näher, dass die fundamentalen Naturkonstanten „finegetuned“ sind, was bedeutet, dass die Stellschrauben unserer physikalischen Konstanten, die jeder physikalischen Theorie zugrundeliegen, extrem fein abgestimmt sind und nur kleine Änderungen an diesen „Stellschrauben“ völlig unwirtliche Universen entstehen lassen würden. Somit ist es nicht selbstverständlich, dass wir in einer habitablen Zone leben, die in einem Kosmos situiert ist, die für intelligente Wesen, wie wir es sind, auch die dafür notwendigen Grundvoraussetzungen bietet. Nach der Multiversen-Hypothese könnten wir jedoch auch einer Stichprobenverzerrung unterliegen, da wir möglicherweise rein zufällig in jenem Universum leben, welches eben diese Basis für uns bietet und dies mit einer gewissen Wahrscheinlichkeitsverteilung der verschiedenen Universen zutrifft. Selbst wenn Stephen Hawking postulierte, dass dem Universum eine Selbstdynamik – bedingt durch die Gravitation – zugrundeliegt, so verschieben derartige Argumentationen das Problem der Entstehung unseres Universums nur ein Stück nach hinten und die Forschung hat das nächste Rätsel zu lösen, woher diese ominöse Selbstdynamik herrührt.

Dies wirft auch die Frage der Falsifizierbarkeit auf. Man weiß nie mit Bestimmtheit, dass auf der Welt nur weiße Schwäne existieren, wenn nicht alle Winkel der Erde untersucht werden. Sobald der erste schwarze Schwan aufscheint, gilt die Theorie als widerlegt. Eng damit

verwoben ist die Frage nach „Hard Science“, wobei dieses Konzept von einer extrem anmutenden Position von Physikern vertreten wird, welche die Überzeugung vertreten, nur verifizierbare Daten seien im Bereich der Physik als sinnvoll zu erachten. Es bedurfte jedoch 100 Jahre, bis Einsteins postulierte Gravitationswellen auch beobachtet werden konnte und ein Puzzlestück mehr in den Bereich von „Hard Science“ rückte. Fermi meinte einst, er habe „das schlimmste gemacht, was ein Physiker nur tun könne, denn er habe ein Teilchen vorhergesagt, welches niemals experimentell nachweisbar sei.“ 60 Jahre später wäre ein Arbeiten im Bereich der Teilchenphysik an der größten Maschine der Welt am CERN nicht mehr vorstellbar. Somit macht es durchaus Sinn, mit scheinbar unbeweisbaren Theorien zu spielen und auf akademischer Ebene Fortschritt zu generieren. Ein ästhetisches Prinzip wie jenes der Schönheit war lange das Leitprinzip hinter derartiger Forschung, wenngleich im Moment dieses zu versagen droht. Die Natur ist nicht zwangsweise so beschaffen, dass wir sie mit unseren beschränkten Mitteln einwandfrei beschreiben können, doch auch Einstein war bereits fasziniert von dem Faktum, dass wir der Wirklichkeit durch Physik auf den Grund gehen können und daher scheint für das Verständnis eine derartige Richtschnur noch nicht obsolet.

Die Quantenphysik kann auch für sehr entfernte Bereiche Anknüpfungspunkte bieten, so unterschiedlich sie auch anmuten und vor einer vorschnellen Über-Interpretation sei gewarnt. Ein Beispiel für eine Synergie von Konzepten, welche zumindest entgegen früherer Argumentationen derartiger Konzepte die Tür ein Stück weit für den Diskurs öffnen, wähle ich die sogenannte Emergenz und das Bewusstsein. Emergenz beschreibt Prozesse auf einem Level B, welches komplexer als ein fundamentaleres, zugrundeliegendes Level A ist. Selbst wenn wir alles auf Level A verstanden haben – zum Beispiel die Konstituenten/Teilchen dieser Theorie, bedeutet dies noch lange nicht, dadurch alles auf Level B voraussagen zu können bzw. einwandfrei erklären zu können. Das dies der Fall ist, zeugen schon zwei Elektronen, welche Fermionen sind und dem Pauli'schen Exklusions-Prinzip unterliegen. Auch der Gasdruck im Raum fällt unter diese Kategorie, denn mit einem Teilchen macht dieser wenig sinn und nur ein Sammelsurium von vielen Teilchen erklärt das Phänomen des Druckes. Noch eindrücklicher wird dieses Konzept bei der sogenannten Supraleitung – einer elektrischen Leitfähigkeit ohne Widerstand und der Verdrängung von Magnetfeldern in diesen Materialien. Dies ist ein physikalisches Phänomen, welches durch ein Kollektiv an quantenphysikalischen Teilchen entsteht, wobei keines der Teilchen für sich diesen Prozess hervorrufen kann. Deswegen ist Bewusstsein nicht per se ein hoffnungsloser Fall, der nur rein durch Komplexität zustandekommen kann, da Atome ja bekanntlich ungern selbst über sich reflektieren und dies anscheinend im Gehirn vonstattengeht. Durch das Prinzip der Emergenz wäre eine Möglichkeit geboten, auch durch Physik einen Anknüpfungspunkt für dieses traditionell philosophische Themengebiet zu bieten.

Ein weiterer interessanter Punkt ist jener, wie sich die modernen Erkenntnisse der Quantenphysik mit dem freien Willen verhalten. Ein wesentlicher Aspekt der Wahrscheinlichkeits-Interpretation und der Heisenberg'sche Unschärfe-Relation ist die Aussage, dass der Zufall irreduzibel in der Natur verankert scheint. Entgegen der vergangenen Jahrhunderte der physikalischen Tradition, in der sich sukzessive ein Bild zu zeigen schien, welches völlig deterministisch ist und durch die Anfangsbedingungen eines Systems eindeutig auf dessen Zukunft geschlossen werden kann. Dieser irreduzible und beinahe omnipräsente Zufall kann auch implizieren, dass unter dieser Prämisse der freie Wille keine sinnlose Illusion

ist sondern im Gegenteil auch eine physikalische Begründung haben kann, selbst wenn dieses Rätsel noch der vollständigen Entschlüsselung bedarf.

Als letzten Punkt will ich auf den – von einem quantenphysikalischen Vorreiter geprägt – Begriff der Komplementarität hinweisen. Dieser besagt, wie im Beispiel des Wellen-Teilchen-Dualismus bereits gezeigt, sehr widersprüchlich und entfernte Aspekte nicht nur sinnvoll zusammengedacht werden können, sondern auch notwendig sein können, um ein tieferes, umfassenderes und vollständigeres Verständnis eines Sachverhaltes bzw. des zu betrachtenden Objektes zu generieren. Gleich kann es sich unter gewissen Umständen auch im interdisziplinären Diskurs verhalten, wobei mehrere Perspektiven und Betrachtungsweisen ähnlich verschiedener Sichtwinkel zu einer besseren und sinnvolleren Erklärung ein und desselben Gegenstandes – in unserem Fall unserer Realität – beitragen können. In diesem Sinne, frohes Schaffen!