

Die physikalische Welt und mögliche Welten

H. J. Pirner

Institut für Theoretische Physik und Marsilius-Kolleg, Universität Heidelberg

This isn't a possible world, it is the only world. Whether that makes it the best is not for you or for me to decide. (The Childhood of Jesus, J.M. Coetze)

Eine gute Methode die Welt zu verstehen, ist sie als eine von möglichen Welten zu betrachten. Damit sieht man die aktuelle Welt in einer neuen Perspektive, wie Leibniz, Aristoteles und andere Philosophen es uns vorgemacht haben. Ich will die möglichen Welten zuerst in philosophischen Sicht und dann vom Standpunkt der Physik betrachten. In der Philosophie erlauben „mögliche Welten“ Aussagen zu klassifizieren. Die darauf aufgebaute modale Logik kann kontrafaktische Wenn-Sätze analysieren, die die Form haben: „Was wäre geschehen, wenn das und das der Fall gewesen wäre?“ Die Physik hat mögliche Welten in allen ihren Disziplinen diskutiert - von der Mechanik bis zur Kosmologie. Ich werde versuchen beide Perspektiven zusammen zu sehen und am Ende mein Ergebnis in sechs Thesen zusammenfassen.

1. Mögliche Welten

Mögliche Welten umfassen die aktuelle (tatsächliche) Welt und andere Welten, soweit sie logisch ohne Widersprüche denkbar sind. In der Philosophie dienen mögliche Welten dazu, die Bedeutung von Aussagen zu klären. Die einfache Logik lässt sich auf die Mengenlehre zurückführen (sie ist extensional), die Logik von Möglichkeiten, die modale Logik ist mit Hilfe von „möglichen Welten“ formalisierbar. Zum Beispiel ist eine Aussage wahr, wenn sie in der aktuellen

Welt wahr ist, „Angelika Merkel wurde am 17. Dezember 2013 zur Bundeskanzlerin gewählt.“ Möglich ist eine Aussage, die in wenigsten einer möglichen Welt wahr ist, „Gregor Gysi wurde am 17. Dezember 2013 zur Bundeskanzlerin gewählt.“ Notwendig ist eine Aussage, die in allen möglichen Welten wahr ist, z.B. „Ein Quadrat hat vier Ecken“, Kontingent (nicht notwendig wahr– nicht notwendig falsch) ist eine Aussage, die in mindestens einer möglichen Welt wahr und in mindestens einer möglichen Welt falsch ist. Die modale Logik ist ein kompliziertes Spezialgebiet der Philosophie. Warum sollen wir uns als Physiker damit beschäftigen?

Die Frage beantwortet sich von selbst, wenn wir die Fachliteratur anschauen. In der Kosmologie, String Theorie und Quantenmechanik findet man immer öfter Theorien mit Paralleluniversen, einem Multiversum oder vielen Quantenwelten. Sollen wir diese möglichen Welten ernst nehmen? Die Philosophen haben bezüglich der Realität möglicher Welten keine einheitliche Meinung. Modale Realisten wie D. Lewis¹ postulieren die Existenz von möglichen Welten mit getrennten raum-zeitlichen Zusammenhang „Mögliche Welten sind das, was sie sind und keine anderes Ding.“ Andere wie S. Kripke² bezeichnen mögliche Welten als wenig mehr als Miniwelten der Schulwahrscheinlichkeit. Auch Fragen nach der Vollständigkeit der möglichen Welten werden unterschiedlich behandelt. Müssen mögliche Welten vollständig sein? Es gibt gute Argumente³, dass es eine allumfassende Welt, als Bereich aller Bereiche nicht geben kann?

Historisch beginnt die Geschichte von Aktualität und Potentialität mit Aristoteles⁴. Er unterscheidet bei der Materie Bronze ihren aktuellen Zustand, das Stück Bronze und den potentiellen Zustand als mögliches Kunstwerk, das aus ihm

¹ D. K. Lewis , On the Plurality of Worlds 1986, Blackwell

² S. A. Kripke, Name und Notwendigkeit, 1981, Suhrkamp; zuerst publiziert als Naming and Necessity, in Semantics of a Natural Language, Eds. G. Harman et al. ,1972 Boston

³ M. Gabriel, Warum es die Welt nicht gibt, 2013, Berlin. S. 18

⁴ Aristotle, Physics, 1996, Oxford; 201 a 27

geformt wird. Die Potenz hat sich in der Physik nur in der potentiellen Energie erhalten, als Energie der (erhöhten) Lage, die sich im freien Fall als Bewegung aktualisiert. Im 17. Jahrhundert hat Leibniz⁵ mit dem Begriff unserer Welt als der besten aller Welten Geschichte gemacht, die Voltaire⁶ im *Candide* als lächerlich verurteilte. Die Prozessmetaphysik von Whitehead⁷ begreift den Wechsel von möglichen Bestimmungen, reinen Möglichkeiten oder Potentialen als Grund von Veränderung, wobei sich die Bestimmungen nicht ändern (eternal objects). Anders verfährt der von D. Lewis eingeführte modale Realismus. Mögliche Welten existieren. Sie sind konkrete wirkliche Einzeldinge, die raumzeitlich und kausal isoliert sind, über die man reden aber die man nicht betrachten kann. Die aktuelle Welt ist objektiv nicht ausgezeichnet. Jede Person sieht seinen Ort als hiesig. Jeder Bewohner einer Welt wird seine Welt als die „wirkliche“ Welt ansehen. Der Begriff „wirklich“ wird zu einem Index oder Hinweiszeichen, das ein Glied in der Folge auszeichnet. Da dieser Index von einer Person gesetzt wird, behauptet A. Koch⁸, dass es in jeder möglichen Welt Subjekte geben muss, die sich wahrnehmend und denken auf ihre Umgebung beziehen. D. Chalmers⁹ hat in „*The Conscious Mind*“ mögliche Welten benutzt um den Naturalismus zu einem Widerspruch zu führen. Falls der Naturalismus wahr wäre, gäbe es keine andere mögliche Welt, die mit der unseren in allen physikalischen Beobachtungen gleich wäre. Zombies mit identischen Verhalten, ohne intrinsisches Bewusstsein aber könnten eine solche Welt bevölkern. Also ist der Naturalismus falsch. Ich werde in diesem Beitrag nicht auf die fiktiven Welten der Science Fiction oder die virtuellen Welten von Computersimulationen eingehen. Seit K. Zuses¹⁰

⁵ G. W. Leibniz, *Principes de la nature et de la grace fondees en raison*, 1974

⁶ Voltaire, *Candide oder Die Beste der Welten*. Dt. Übertragung und Nachwort von E. Sandner, 1971, Stuttgart

⁷ A. N. Whitehead, *Process and Reality*, based on the Gifford Lectures, 1927, New York-London X.2
cf. <http://groups.apu.edu/theophil/Culp/Add1%20Reading%20F06/091506jc%20Whitehead%20Process%20Reality.pdf>

⁸ A. Koch, *Wir sind kein Zufall. Möglichkeiten eines Dialogs zwischen Physik und Philosophie*, 2014, Publikationen des Marsilius Kollegs, Heidelberg

⁹ D. J. Chalmers, *The Conscious Mind*. 1996, Oxford.

¹⁰ K. Zuse, *Rechnender Raum*, 1969, Bad Hersfeld

„Rechnender Raum“ geistert eine digitale Automatentheorie¹¹ durch die Philosophie und Literatur, die wegen der Informationstechnologie sowohl Anhänger als auch Kritiker gewinnt. Man kann sie nur verstehen, wenn man den Erzähler oder Programmierer in die Diskussion einschließt.

2. Mögliche Welten in der Physik

Unter der physikalischen Welt verstehe ich alle Objekte, die mit physikalischen Methoden der Empirie, Beobachtung und mathematischen Analyse untersucht werden. Der physikalische Bereich umfasst Elementarteilchen, Atome, Gase, Festkörper, Membrane und Neuronen, aber auch Galaxien und das ganze Universum in seinem raum-zeitlichen Zusammenhang. Ich betrachte die physikalische Welt als einen Teil unserer aktuellen Welt, in der außerdem geistige, kulturelle und gesellschaftliche Phänomene wichtige Rollen spielen. Physikalisch mögliche Welten können raumzeitlich getrennte Universen sein, von denen Lewis im modalen Realismus spricht. Sie können aber auch „mögliche Verläufe“ der physikalischen Welt im Sinne von S. A. Kripke¹² darstellen, also quasi Teile der physikalischen Welt, die nicht unbedingt realisiert sind. Die physikalische Welt mag als eine nicht „mögliche“ Welt betrachtet werden, wenn man maximale Vollständigkeit und Konsistenz in möglichen Welten fordert. Da die Physik kein handelndes oder denkendes Subjekt kennt, wäre die physikalische Welt als mögliche Welt disqualifiziert, wenn ein „Subjekt“ in allen möglichen Welten auftreten muss,

Welche Arten von möglichen Welten gibt es in der physikalischen Welt? In der klassischen Mechanik erscheint es nur eine Welt zu geben, in der die Orte und Geschwindigkeiten aller Objekte in der Vergangenheit und deterministisch in alle Ewigkeit bestimmt sind. Dem Ort und der Geschwindigkeit eines Teilchens

¹¹ E. Fredkin, An Introduction to Digital Philosophy, Int. Jour. Of Theoretical Physics, Vol 42. p. 189, 2003

¹² S. Kripke siehe oben, Seite 22

zu einem Zeitpunkt t wird zum Zeitpunkt $t+dt$ ein neuer Ort und eine neue Geschwindigkeit zugeordnet. Galilei konnte mit seiner Wasseruhr den freien Fall nicht quantitativ untersuchen. Er musste sich eine andere mögliche Natur ausdenken, in der Körper langsamer fallen. Er verwirklichte diesen Gedanken in der schiefen Ebene, bei der die effektive Erdbeschleunigung reduziert ist. Wenn man die Veränderung der Höhe des Objekts betrachtet, dann findet man dass die effektive Beschleunigung mit dem Quadrat des Sinus der Steigung reduziert ist. Während Aristoteles noch meinte, dass ein Körper sich nur bewegt wenn er eine Kraft erfährt, bedeutet das Newton Gesetz: $Kraft = Masse * Beschleunigung$, dass ein Körper in Ruhe verharrt oder sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt, wenn keine Kräfte auf ihn wirken. Alleingelassene Körper brauchen keine Seelenkräfte, um ihren Ort zu wechseln. Die Physik hat damit eine metaphysische Möglichkeit unserer aktuellen Welt eliminiert.

Mögliche Welten begegnen uns zum zweiten Mal als mögliche Trajektorien eines Massenpunktes in der Mechanik. Man geht aus von der Wirkung, die als zeitliches Integral der Differenz von kinetischer und potentieller Energie (d.h. der Lagrange Funktion) dargestellt wird. Die Wirkung ist ein Funktional aller Wege mit festem Anfangs- und Endpunkt. Das Prinzip der kleinsten Wirkung selektiert die optimale Trajektorie. Da in vielen Fällen das Extremum auch ein Minimum der Wirkung darstellt, spricht man vom Prinzip der kleinsten Wirkung welches auf Euler (1707-1783) zurückgeht. Vor Euler hat der Philosoph Leibniz¹³ (1646-1716) behauptet: Weil Gott vollkommen, allweise, allmächtig, allgütig ist, hat er die beste aller möglichen Welten geschaffen. Der göttliche Geist kennt alle Möglichkeiten (alle möglichen Welten). Unsere Welt ist die beste, weil sich keine andere mit geringerem Übel verwirklichen kann. „Da nun die Ideen Gottes unendlich viele Welten enthalten und doch nur eine einzig davon existieren kann, so muss es einen zureichenden Grund für die Wahl Gottes geben, der ihn zu der

¹³ G. W. Leibniz siehe oben

einen Welt mehr als zu den anderen bestimmt.“¹⁴ Bei Leibniz ist Gott die Basis für die ontologisch möglichen Welten. Unsere Welt ist die beste in ihrem Entwicklungspotential. Diese philosophische These ist in guter Übereinstimmung mit dem Prinzip der kleinsten Wirkung, das auch ein Optimum selektiert. Feynman¹⁵ versucht einen anderen Grund für das klassische Wirkungsprinzip zu geben. Er fragt, „Is it true that the particle doesn't just take the right path, but that it looks at all the other trajectories?“ und verweist damit auf die Quantenmechanik.

Wie wahrscheinlich sind die möglichen physikalischen Welten? In der statistischen Mechanik beschreiben wir nicht die Trajektorien von jedem Gasmolekül in einem Gas, sondern wir geben die mittlere Energie (oder Temperatur), das Volumen und die Anzahl der Moleküle vor und fragen dann nach den möglichen Verwirklichungen dieser Vorgaben in einzelnen Mikrozuständen. Statistische Mechanik beruht auf der Annahme, dass jeder so mögliche Zustand im Raum der Orte und Geschwindigkeiten aller Teilchen gleich wahrscheinlich ist. Man erhält als Resultat die Wahrscheinlichkeitsverteilung eines Atoms inmitten nicht wechselwirkender Atome, die im Ort konstant und in der Geschwindigkeit durch eine Glockenkurve beschrieben wird. Von dieser Verteilung kann durch Mittelwertbildung der Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur abgeleitet werden. „Mögliche Welten sind wenig mehr als die Miniwelten der Schulwahrscheinlichkeit, wenn man sie weiter aufbläst“, meint Kripke¹⁶ in Übereinstimmung mit den Elementen eines statistischen Ensembles. Er sagt aber auch: „Mögliche Welten sind vollständige Weisen, wie die Welt hätte sein können oder Zustände oder Geschichten der gesamten Welt.“ Diese Forderung geht weit über die statistische Mechanik hinaus. Man beachte die Begriffe „wahrscheinlich“ und „möglich“ sind verschieden. Falls meine Ungewissheit groß ist, kann ich keine Wahrscheinlichkeiten, sondern nur noch

¹⁴ G.W. Leibniz, *Monadologie* (53), übersetzt von H. Glockner, S.24, 1954, Stuttgart

¹⁵ R.P. Feynman, *Lectures on Physics*, Band II, 19.9, 1964, Reading Mass. USA

¹⁶ S. K. Kripke, siehe oben Seite 26

Möglichkeiten angeben. Vertreter¹⁷ der Theorie unpräziser Wahrscheinlichkeiten betrachten deshalb Mengen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen in der Möglichkeitstheorie. Die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis ist immer kleiner gleich der Möglichkeit für dieses Ereignis $p(E) \leq \text{poss}(E)$. In diesem Sinne gibt die Möglichkeit das Supremum aller Wahrscheinlichkeiten für jedes Ereignis. Es ist hier nicht der Ort über die verschiedenen Definitionen der Wahrscheinlichkeit zu diskutieren, aber die Tatsache, mehrere solche Verteilungen zuzulassen verrät die Absicht, Wahrscheinlichkeit als eine subjektive Meinung zu betrachten. Dies ist in der Verhaltensökonomie üblich, wird in der Physik aber vermieden.

Wahrscheinlichkeit ist ein Schlüsselbegriff der Quantenmechanik, in der aus der Wellenfunktion nur die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis berechnet werden kann. Die Quantenmechanik enthält im Wegintegral die Summation über alle möglichen Trajektorien, nicht nur die klassische, „beste“ Trajektorie. Das Gewicht in der Summe ist durch die Wirkung in Einheiten des Wirkungsquantums h gegeben. Es manifestiert sich in Form einer „Uhrzeigerfunktion“, d.h. einer Exponentialfunktion mit komplexen Argument, bei der sich gegenüberliegende Zeigerzustände, z. B. 12 Uhr und 6 Uhr auslöschen und gleichgerichtete Zeiger verstärken. In der Quantenmechanik ist die Wirkung von der Größe des Wirkungsquantums. Interferenzen zwischen verschiedenen Möglichkeiten sind deswegen stark. Im Grenzfall eines unendlich kleinen Wirkungsquantums $h \rightarrow 0$ kann eine kleine Änderung der Wirkung eine ganz andere Einstellung der Zeigerfunktion bewirken. Nur im Bereich des klassischen Weges geben alle nahegelegenen Wege eine ähnliche Wirkung in Einheiten des Wirkungsquantums, so dass diese Wege ein großes Gewicht in der Summe bekommen. Dies erklärt das Prinzip der minimalen Wirkung in der klassischen Physik. Feynman¹⁸ hat seine oben gestellte Frage im Pfadintegral beantwortet, in dem das Teilchen alle anderen Möglichkeiten auslotet. Die Quantenmechanik enthält viele mögliche

¹⁷ H. Dubois, Possibility Theory, An Approach to Computerized Processing of Uncertainty, 1988, New York

¹⁸ R. P. Feynman, siehe oben

Welten in Form der verschiedenen Wege, den das Teilchen nimmt und deren Summe die Wahrscheinlichkeits-Amplitude ergibt. Diese Wege lassen sich verallgemeinern zu Konfigurationen von Feldern oder Spins. Aus dem Pfadintegral lässt sich die Schrödinger Gleichung für die Wellenfunktion ableiten. Nach der Kopenhagener Interpretation kollabiert die Wellenfunktion in dem Zustand, der das tatsächliche Messergebnis beschreibt. Um diesen Kollaps zu vermeiden hat Everett¹⁹ die Vielwelten Interpretation der Quantenmechanik entwickelt. Eine Wellenfunktion für die ganze Welt steht am Anfang des Universums, in der es keine Unterscheidung zwischen System, Messapparatur und Umgebung gibt. In der Vielwelten Theorie spaltet bei jeder Messung die aktuelle Welt in einen Zweig, der uns und das Messergebnis enthält, und in die anderen möglichen Welten, die auch in der Wellenfunktion kodiert sind und weiter existieren mit ihren eigenen Beobachtern. Diese möglichen anderen Welten können nicht mehr mit unserer Welt kommunizieren. Für die hard-core modalen Realisten sind Quanten-Welten eine Untermenge der möglichen realen Welten.

In verschiedenen kosmologischen Modellen entsteht durch Quantenfluktuationen ein makroskopisches Multiversum. Die allgemeine Relativitätstheorie betrachtet die Raum-Zeit Geometrie als Funktion der Energie und Druck-Verteilung. Schlüsselidee ist das Äquivalenzprinzip, dass ein beschleunigtes Raumschiff im gravitationsfreien Raum eine Gravitationskraft simuliert. Bewegungsgleichungen der kräftefreien Bewegung in gekrümmten Räumen enthalten einen Term mit einem Verbindungsfeld, der wie ein Kraft-Term aussieht. Dieses Verbindungsfeld für schwache Gravitationsfelder ist durch die Gradienten der Metrik gegeben, d.h. das Gravitationsfeld zeigt sich durch eine Krümmung des Raums. Ein Vergleich der neueren astronomischen Daten mit den Einstein Gleichungen macht die Einführung einer kosmologischen Konstanten

¹⁹ Hugh Everett, III: „Relative State“ Formulation of Quantum Mechanics. Rev. Mod. Phys.. 29, 1957, S. 454–462

(vielleicht dunklen Energie) und dunklen Materie nötig. Diese beiden Hypothesen werden sowohl in der Astrophysik als auch der Elementarteilchenphysik allgemein akzeptiert. Um die Homogenität des Mikrowellenhintergrunds zu verstehen, muss sich das frühe Universum extrem schnell ausgedehnt haben. Als Ursache wird die Anregung eines skalaren Felders angesehen, dessen potentielle Energie dominiert und die sogenannte Inflation²⁰ des Miniuniversums auslöst. Es gibt bis jetzt keinen Konsensus unter Kosmologen über die Idee von A. Linde²¹, dass diese Inflation ewig andauert und immer neue Welten erzeugt. Das spezielle Inflaton Potential dieser Publikation ist fast ausgeschlossen durch die neuesten Planck Messungen²². Das skalare Feld rollt den Potentialberg quasiklassisch hinunter und damit wäre der Prozess beendet, wenn es nicht Quantenfluktuationen gäbe. Das ursprünglich stark lokalisierte Feld dehnt sich in der Zeit $1/\text{Planckmasse}$ in ein 20-mal größeres Gebiet aus. In jedem Teil dieses Gebiets wird der Wert des Feldes im Mittel kleiner als der Anfangswert sein. Fluktuationen aber verändern seinen Wert. Man kann abschätzen, dass die Anzahl der Regionen, in denen das Feld größer als sein Mittelwert ist, exponentiell mit der Zeit anwächst und deswegen die Inflation sich in diesen Regionen mit hoher potentieller Energie fortsetzt, indem sie weitere Universen schafft. Die Berechnung der Fluktuationen im frühen Universum wird durch die Beobachtung der Fluktuationen im heutigen Universum unterstützt. Wir können nicht die Größe der Fluktuationen nur deren Korrelationen vorhersagen, die aus der skalaren Theorie des Inflatons folgen. Das Modell des Multiversums wird auch durch die Superstring Theorie und durch das anthropische Argument für die kosmologische Konstante aufgewertet. Ich finde beide Gründe weniger überzeugend und werde sie hier nicht referieren. Es ist schwer im Multiversum die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen abzuschätzen, da es unendlich viele Kandidaten für andere

²⁰ A. Guth, Quantum Fluctuations in Cosmology and How They Lead to a Multiverse," arXiv:1312.7340 [hep-th], 2013

²¹ A. Linde, Physics Letters B 175, s 395 1986

²² Planck 2013 Results. XXII. Constraints on inflation arXiv:1303.5082v2 [astro-ph.CO], 2013

Universen gibt. Diese Universen ähneln den möglichen Welten, von denen D. Lewis erzählt, um seine modale Logik realistisch zu machen.

Dieselben mathematischen Strukturen mit Verbindungsfeldern und Krümmungen bestimmen auch das Standard-Modell der Mikrophysik. Elementarteilchen werden durch Quantenfelder beschrieben, die Eigenschaften von Feldern (elektrisches Feld) und Quantenfunktionen (Wellenfunktion des Oszillators) vereinigen. Das Standard Modell hat mit der Entdeckung des Higgs Teilchens eine weitere Bestätigung erhalten. Es enthält 32 unbekannte Parameter. Die Kleinheit der elektroschwachen Energie Skala von 300 GeV im Vergleich zur Planck Masse von 10^{19} GeV lässt Raum für Spekulationen jenseits des Standard Modells. Insbesondere möchte man gerne die Massen der elementaren Quarks, Leptonen und Eichteilchen verstehen, welche sich über sechs Zehnerpotenzen erstrecken. Die Masse des Topquarks beträgt 173 GeV, die Masse des Mu-Neutrinos ist kleiner als 0.00019 GeV. Eine solch breite Skala gibt es in keinem der uns bekannten Quantensysteme. Ich möchte ein Spielzeugmodell konstruieren, welches zu einer solchen Massenverteilung passt. Es beruht auf der Existenz von möglichen Welten, die dieselben Teilchen wie das Standardmodell, enthalten aber Massen haben, die von denen in der aktuellen Welt verschieden sind. In jeder dieser möglichen Welten ordne ich die Teilchen nach der Größe ihrer Masse an. Das Teilchen mit der schwersten Masse hat den Rang eins, das zweitschwerste den Rang zwei und so weiter. In unserer Welt z.B. hat das Elektron den Rang 13. Bei der Betrachtung aller möglichen Welten ergibt sich für ein Teilchen mit der Masse M eine Wahrscheinlichkeit den Rang n einzunehmen. Ich habe eine angenäherte exponentielle Verteilung für die Massen der elementaren Teilchen als Funktion ihres Rangs n gefunden:

$$M(n) = M_0 n e^{-n x} / \sum_n e^{-n x}$$

Mit $M_0 = 425$ GeV und $x = 1.09$, beträgt die mittlere Abweichung 40%. Die Abweichungen sind sehr groß bei den Massensprüngen vom b-Quark (86%) zum tau-Lepton (58%) und vom Muon (160%) zum s-Quark (15%). Diese Teilchen

wären in der großen vereinigten Theorie $SU(5)$ jeweils entartet. Das exponentielle Verhalten der Massen deutet auf eine Theorie mit extra Dimensionen hin, in denen der Überlapp zwischen der Wellenfunktion des ultravioletten Higgs und den anderen Wellenfunktionen im Infraroten zu exponentiellen Yukawa Kopplungen führt.

3. Zusammenschau

Lassen sie mich die Rolle möglicher Welten in der Physik in ein paar Hypothesen zusammenfassen:

(1) Heuristisch wichtig sind mögliche Welten in der Physik in Gedankenexperimenten, die es erlauben, Parameter im Kopf zu verändern und die Konsequenzen für den Ausgang einer Messung abzuschätzen. Als Beispiel habe ich die Neigung der schiefen Ebene erwähnt, welche die Stärke der Schwerkraft verändert und damit in einem Experiment auch mit archaischen Instrumenten messbar macht.

(2) Die Physik versucht die möglichen Welten in ihr Wissensgebäude einzubauen, so dass sie ein Teil der aktuellen Welt werden. Als wahrscheinliche Welten werden sie behandelbar. (Beispiel: Statistik von Molekülen in einem Gas). Mathematische Verallgemeinerungen von Wahrscheinlichkeiten im Sinne von Möglichkeiten werden in der Ökonomie verwendet, weil hier subjektive Meinungen eine Rolle spielen.

(3) Die möglichen Trajektorien oder Konfigurationen eines Quantenobjekts stellen mögliche Welten dar, die als Wahrscheinlichkeitsamplituden zur messbaren Gesamtwahrscheinlichkeit beitragen. Gültigkeitsgrenzen der Quantenmechanik sind unbekannt. Gehört die Gravitation dazu? Gibt es quantenmechanisch favorisierte biophysikalische Prozesse?

(4) Gelingt es der Physik nicht, die mögliche Welt in die Theorie einzubauen, wie beim Kollaps der Wellenfunktion, werden Gebilde erzeugt, wie die Viele-Welten Theorie, die überflüssig erscheinen. Die Viele Welten Theorie macht den Indeterminismus der Quantenmechanik auch nicht besser verstehbar.

(5) Die Universen des Multiversums können noch nicht als die von D. Lewis betrachteten realen möglichen Welten betrachtet werden. Ihre Existenz ist umstritten, Das Inflaton Feld ist hypothetisch, seine Quantendynamik nicht vollständig verstanden. Einschränkungen für das Potential können von der Analyse der Mikrowellenstrahlung erhalten werden.

(6) Die Philosophie beschäftigt sich hauptsächlich mit dem Logisch-Möglichen oder dem Metaphysisch-Möglichen, während die Physik sich mit dem physikalisch-Möglichen abgibt. Hier ist es schwer ein Zwiegespräch zu etablieren. Ich habe versucht in einem Spielzeugmodell mögliche Weltenphysik auf das Standardmodell anzuwenden. Das aktuelle Universum ist so wahrscheinlich, wie es die möglichen Vergleichswelten erlauben.