

3.2 Kant und der Urknall

Im Rahmen des Standardmodells der modernen physikalischen Kosmologie auf der Grundlage von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie scheint ein einfacher *Einwand* gegen den Erfolg des von Kant rekonstruierten Beweises auf der Hand zu liegen. Ist die Behauptung, daß die Welt keinen zeitlichen Anfang haben kann, nicht durch die weithin akzeptierte physikalische Kosmologie des sogenannten Urknalls längst widerlegt worden? Es ist nicht illegitim, Kants Argumente auf diese Weise kritisch zu hinterfragen. Zwar ist es richtig, daß sie ihrer Herkunft nach der Metaphysik der rationalen Kosmologie angehören und daher *nicht* auf die Argumente empirischer naturwissenschaftlicher Theorien *reduziert* werden können. Wenn man sich allerdings den von Kant unterstellten Zusammenhang zwischen Metaphysik und Naturwissenschaft ver-

9 Erst in der modernen Quantenphysik, in der Quantenfeldtheorie, läßt sich die Entstehung der Welt aus einem materiefreien Zustand konsistent beschreiben. Darauf werde ich am Ende des nächsten Abschnitts (3.2) noch einmal zurückkommen.

gegenwärtigt, dann läßt sich als eine notwendige Bedingung für den Erfolg der Argumente der metaphysischen Kosmologie festhalten, daß sie den Ergebnissen der am besten belegten naturwissenschaftlichen Theorien wenigstens nicht widersprechen dürfen. Die Nachfrage ist also legitim: *Ist* nicht der Urknall selbst der Anfang der Welt in der Zeit?

Die Beantwortung dieser Frage verlangt einen etwas genaueren Blick auf das sogenannte *Standard-Urknallmodell*. Im Rahmen dieses Modells wird eine Urexplosion von extremer Materiedichte und Temperatur angenommen, in der das Universum von Elementarteilchen angefüllt war und nach der es sich unter rascher Abnahme von Dichte und Temperatur sehr schnell ausgedehnt hat. Diese Urexplosion ist im Standardmodell zugleich der Beginn der Raumzeit. Im Rahmen der Gravitationstheorie der Allgemeinen Relativitätstheorie sind die Materiedichte und die Temperatur für sehr kleine Zeiten direkt nach dem Urknall sehr groß; so wird etwa für Zeiten kleiner als 10-12 Sekunden nach dem Urknall eine Temperatur von über 10¹⁵ Grad Celsius angesetzt.¹⁰ Streben die Werte für die Zeit gegen null, so streben entsprechend die Werte für Dichte, Temperatur, Druck und Energie gegen unendlich. Daraus folgt dann allerdings, daß die Urexplosion selbst innerhalb des Modells *nicht* beschrieben werden kann, wie Stephen Hawking ausdrücklich festhält:

Da die Mathematik mit unendlichen Zahlen im Grunde nicht umgehen kann, bedeutet dies, daß die Allgemeine Relativitätstheorie (auf der die Friedmannschen Lösungen beruhen) einen Punkt im Universum vorausagt, an dem die Theorie selbst zusammenbricht. Dieser Punkt ist ein Beispiel für das, was die Mathematiker eine Singularität nennen. Tatsächlich gehen alle unsere wissenschaftlichen Theorien von der Voraussetzung aus, daß die Raumzeit glatt und nahezu flach ist. Deshalb versagen die Theorien angesichts der Urknall-Singularität, wo die Krümmung der Raumzeit unendlich ist.¹¹

Die Gleichungen des Standard-Urknallmodells verlieren für sehr kleine Zeiten, die unterhalb eines gewissen Schwellenwertes liegen, ihre Gültigkeit. In manchen Darstellungen wird die fragliche

10 Ulrich Ellwanger, *Vom Universum zu den Elementarteilchen*, Berlin, Heidelberg u. a. 2011, S. 17.

11 Stephen Hawking, *Die illustrierte kurze Geschichte der Zeit*, Hamburg 2007, S. 61 (*A Brief History of Time*, London 1988, S. 42).

Schwelle mit der Planckzeit (etwa $5,4 \cdot 10^{-44}$ Sekunden) angegeben, wobei hier allerdings bereits die Versuche berücksichtigt sind, das Standardmodell in eine Theorie der Quantengravitation zu integrieren.¹²

Betrachten wir den zentralen Begriff der *Singularität* etwas näher. Im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie werden darunter bestimmte Zusammenbrüche der geometrischen Struktur von Raum und Zeit verstanden, die unter bestimmten realen Bedingungen unseres Universums zwangsläufig sind. Die Standardbeispiele für Singularitäten sind die sogenannten Schwarzen Löcher. Die Metapher der Krümmung der Raumzeit, die dabei eine wichtige Rolle spielt, versucht dem Grundgedanken der Allgemeinen Relativitätstheorie zu entsprechen, daß das Maßfeld der vierdimensionalen Raumzeit nicht fest vorgegeben ist, sondern sich in Abhängigkeit von den vorhandenen Massen und Energien verändern oder, metaphorisch gesprochen, verzerren kann. Der flache euklidische Raum ist in dieser Perspektive ein Sonderfall, der nur unter der Voraussetzung eines bestimmten Zusammenwirkens aller im Kosmos verteilten Massen und Energien zustande kommen kann. Da nun in einer Singularität die Materiedichte und die Stärke des Gravitationsfeldes unendlich sind, verzerren sie die Raumzeit zu einer unendlichen Krümmung.

Es ist schwierig, eine präzise Definition einer Raumzeit-Singularität zu entwickeln.¹³ Die gängigen Definitionen machen von der Vorstellung der Unabgeschlossenheit von Raumzeit-Pfaden Gebrauch. Ein derartiger Pfad ist die kontinuierliche Kette aller Ereignisse eines beliebigen Objekts, zum Beispiel eines Elementarteilchens oder eines Beobachters, im Laufe seiner gesamten Existenz. Man kann ihn auch eine *Weltlinie* nennen. Eine Singularität kann man sich als eine Art Riß oder ein Loch im Gewebe der Raumzeit vorstellen, an dem die Pfade, die zu ihr hinführen, abrupt enden, während sie jenseits dieses Risses abrupt wieder beginnen. Dies impliziert, daß die betreffenden Objekte an einer Singularität

12 So Albrecht Unsöld, Bodo Baschek, *Der neue Kosmos*, Berlin, Heidelberg u. a. 1999, S. 498.

13 Vgl. zum folgenden Erik Curiel, Peter Bokulich, »Singularities and Black Holes«, in: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2012 Edition), hg. v. Edward N. Zalta, (<http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/spacetime-singularities/>), letzter Zugriff 27. Juni 2015.

abrupt verschwinden oder auftauchen, ihre Existenz also abrupt endet oder beginnt. Da nun der Urknall eine derartige Raumzeit-Singularität ist, gilt entsprechend, daß alle Raumzeitpfade zwangsläufig abbrechen müssen, *bevor* sie den Urknall erreicht haben:

In unserer eigenen Raumzeit ist jeder nicht weiter verlängerbare, in die Vergangenheit gerichtete Zeitpfad unvollständig (und unsere Raumzeit ist singular): Sie »verlaufen sich alle im Urknall«. Insofern es keinen Zeitpunkt gibt, zu dem der Urknall stattgefunden hat (es gibt keinen Zeitpunkt, zu dem die Zeit gewissermaßen begonnen hat), gibt es auch keinen Punkt, der als Endpunkt eines derartigen Pfades dienen könnte.¹⁴

Die Vorstellung abbrechender Weltpfade entspricht der allgemein akzeptierten Auffassung, daß in einer Singularität Raumzeitpunkte, die sich im Gewebe der Raumzeit dort eigentlich befinden sollten, fehlen. Daraus folgt nun aber nicht nur, daß sich der Urknall mit den Mitteln der Allgemeinen Relativitätstheorie nicht *beschreiben* läßt, sondern insbesondere, daß sich der Urknall selbst gar nicht an einer bestimmten Raumzeitstelle *finden* kann. In der Singularität des Urknalls *gibt* es keine Raumzeitpunkte. Ein Anfang in der Zeit ist aber ein Bestehen zu einem bestimmten Raumzeitpunkt. Zwar *postuliert* das Standardmodell des Urknalls einen Anfang des Universums, und es *beansprucht* auch, dessen Alter hinreichend genau bestimmen zu können. Mit seinen eigenen theoretischen Mitteln kann es aber weder diesen Anfang noch die zeitliche Erstreckung des Universums bis zum Urknall beschreiben. Der Physiker und Wissenschaftstheoretiker Peter Mittelstaedt, Schüler von Werner Heisenberg, formuliert das Problem folgendermaßen: »Bezieht man wie bisher die Totalität des Kosmos auch auf die zeitliche Erstreckung, so ist ein Kosmos mit endlichem Alter im Rahmen der Friedmann-Modelle nicht konsistent darstellbar. Die von Kant genannten Probleme treten auch in der Einsteinschen Kosmologie in voller Schärfe auf.«¹⁵

Zur Beschreibung des Universums in der Zeit unmittelbar nach dem Urknall müßte das Standardmodell, das auf der Allgemeinen Relativitätstheorie beruht, durch eine Theorie der *Quan-*

14 Ebd., Abschnitt 1.2 (meine Übersetzung).

15 Peter Mittelstaedt, Ingeborg Strohmeyer, »Die kosmologischen Antinomien in der *Kritik der reinen Vernunft* und die moderne physikalische Kosmologie«, in: *Kant-Studien* 81 (1990), S. 145-169, hier: S. 160.

tengravitatio ersetzt werden, in der die wesentlichen Elemente der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantentheorie vereinheitlicht werden sollen. Es gibt allerdings bis heute keine unter Physikern allgemein akzeptierte Theorie der Quantengravitation. Bis zum jetzigen Zeitpunkt gelten Allgemeine Relativitätstheorie und Quantentheorie als unvereinbar, und auch die Versuche einer vereinheitlichenden Beschreibung des Kosmos durch Nicht-Standardmodelle, wie sie etwa im sogenannten Inflationsmodell vorliegen, haben sich nicht allgemein durchsetzen können.

Möglicherweise muß man aber gar nicht bis zu einer anspruchsvollen Theorie der Quantengravitation gehen, um Kants zentrale These, daß das erstmalige Bestehen eines Gegenstandes immer das vorherige Bestehen seiner Entstehung voraussetzt, außer Kraft zu setzen. Bereits in der *Quantenfeldtheorie* läßt sich die Entstehung der Welt aus einem materiefreien Zustand konsistent beschreiben:

Um eine Welt mit endlichem Alter denken zu können, muß man eine Entstehung der Welt aus dem Nichts, d. h. physikalisch genauer aus dem Vakuum qua materiefreiem Zustand der Welt begreifen. [...] In der Physik wird es erst in der Quantenfeldtheorie möglich, die Entstehung der Materie aus dem Vakuum zu begreifen. Das quantenfeldtheoretische Vakuum ist nicht das schlechthinige Nichts, aus dem in der Tat kein Entstehen denkbar wäre, sondern eine spezielle Erscheinungsform der Welt, ein Zustand, in dem keine reelle Materie anwesend ist, dennoch ein Zustand virtueller Materie, ein Kontinuum von Möglichkeiten, die mit bestimmter Wahrscheinlichkeit aktualisiert werden können.¹⁶

Anscheinend unterliegen die in der Quantenfeldtheorie erfaßten Vorgänge der Entstehung der Materie aus dem Vakuum nicht mehr einem Prinzip der Erhaltung der Materie. Dann ließe sich unter diesen Voraussetzungen das von Kant an zentraler Stelle verwendete Prinzip (E) der Entstehung eines Gegenstandes auch *nicht* mehr unter Berufung auf einen Materieerhaltungssatz begründen. Allerdings scheint die Quantenfeldtheorie Kants Prinzip *in anderer Weise* gerade zu bestätigen. Das quantenphysikalische Vakuum ist kein absolutes Vakuum, sondern der Grundzustand eines quantenphysikalischen Systems, in dem dieses seine geringstmögliche Energie aufweist. Es *enthält* selbst also bereits Energie, die

¹⁶ Mittelstaedt, Strohmeyer, »Die kosmologischen Antinomien in der *Kritik der reinen Vernunft* und die moderne physikalische Kosmologie«, S. 165.

unter bestimmten Voraussetzungen in Materie umgewandelt werden kann.

Daraus scheint sich nun folgendes zu ergeben: Sollte das Erklärungsdefizit des Urknall-Standardmodells durch quantenphysikalische Theorien aufgehoben werden können, dann machte die Beschreibung der Entstehung der Materie des Kosmos im Urknall die zusätzliche Annahme eines *früheren*, materiefreien Zustandes erforderlich. Im Rahmen derartiger Beschreibungen wäre die Annahme einer Zeit *vor* dem Urknall also selbst dann geboten, wenn die vierdimensionale Raumzeit unseres Universums erst mit dem Urknall entstanden wäre, und das führt dazu, dem materiefreien Zustand vor dem Urknall eine *eigene* Zeit zuzuschreiben. Einige der neueren Entwicklungen auf dem Gebiet der Nicht-Standardmodelle für den Urknall deuten auch tatsächlich in diese Richtung. So wird etwa in der Branentheorie, die sich aus einem der beiden Hauptzweige der Theorie der Quantengravitation, nämlich der Stringtheorie, entwickelt hat, die Existenz eines Branekosmos mit eigener Zeitstruktur behauptet, aus dem es durch eine Kollision von Branen allererst zum Urknall und damit zur Entstehung unseres Universums gekommen sein soll.

Sollte aus der Anwendung quantenphysikalischer Theorien nun allerdings tatsächlich folgen, daß wir uns auf die Existenz eines Universums vor unserem Universum festlegen müssen, aus dem sich der Urknall selbst erklären läßt, dann wäre dies wenigstens von dieser Seite her ein Beleg für Kants Prinzip, daß das erstmalige Bestehen eines Gegenstandes das zeitlich frühere Bestehen seiner Entstehung voraussetzt. Würde man dagegen einwenden, daß die Anwendung quantenphysikalischer Theorien auf den Urknall gerade umgekehrt zeigt, daß *unser Universum* tatsächlich entstanden ist und einen ersten Zeitpunkt seines Bestehens, also einen Anfang in der Zeit, aufweist, dann würde man sich offenbar auf einen bloßen Streit um Worte einlassen. In einer umfassenderen Definition des Begriffs der Welt ist die so behauptete Welt vor der Welt nämlich nicht etwas anderes als letztere, sondern lediglich ein noch früheres Stadium. Unter der Voraussetzung dieses umfassenderen Begriffs der Welt verlagert sich das Problem eines Anfangs der Welt in der Zeit dann allerdings nur um eine Stufe weiter nach hinten zu der Frage, ob das materiefreie Stadium der Welt seinerseits einen Anfang in der Zeit hat oder nicht.

Fassen wir zusammen: In einer wohlwollenden Lesart, die auf das Prinzip vom zureichenden Grund verzichtet, läßt sich Kants Beweis für die Zeitvariante der Antithese auf die zentrale Annahme zurückführen, daß das erstmalige Bestehen eines Gegenstandes das zeitlich frühere Bestehen seiner Entstehung voraussetzt. Diese Annahme ist in allen klassischen physikalischen Theorien einschließlich der Allgemeinen Relativitätstheorie durch das Prinzip der Materie- oder Energieerhaltung gestützt. Zieht man die modernen physikalischen Theorien des Urknalls hinzu, dann ergibt sich: Das Standardmodell des Urknalls behandelt den Urknall als Singularität und kann daher mit seinen eigenen Mitteln weder den Anfang des Universums noch die zeitliche Erstreckung des Universums bis zum Urknall konsistent darstellen. Die Nicht-Standardmodelle, die auf quantenphysikalische Theorien zurückgreifen, bestätigen das leitende Prinzip des Beweises, daß das erstmalige Bestehen eines Gegenstandes das zeitlich frühere Bestehen seiner Entstehung voraussetzt. Wir hatten als eine notwendige Bedingung des Erfolgs von Kants Rekonstruktion der Argumente der metaphysischen Kosmologie festgehalten, daß sie den Ergebnissen der physikalischen Kosmologie wenigstens nicht widersprechen dürfen. Im Lichte der in diesem Abschnitt diskutierten physikalischen Theorien stehen die Chancen dafür, daß diese Bedingung erfüllt ist, gar nicht einmal so schlecht.