

Die geniale Idee des Herrn Kant

Raum und Zeit

Eine der vielleicht am häufigstem zitierten Formulierungen aus dem Werk Immanuel Kants lautet, dass „Raum und Zeit reine Formen der Anschauung“ sind. Was das bedeutet, ist vielfach diskutiert und oft erklärt worden, man schaue in einschlägigen Lexika und Wikipedia nach. Ich werde mich für meine Zwecke auf eine Stelle aus der Kritik der reinen Vernunft², dort in der Transzendentalen Dialektik über die Antinomien der reinen Vernunft auf den sechsten Abschnitt beziehen: „Der transzendente Idealismus als der Schlüssel zur Auflösung der kosmologischen Dialektik.“ Die Antinomien bestehen aus genau vier kosmologischen Grundfragen, nämlich zwei „mathematischen“ (unendliche Reihe; unendliche Teilbarkeit) und zwei „dynamischen“ Antinomien (Kausalität und Freiheit; Möglichkeit eines unbedingt notwendigen Wesens). Im Rahmen einer Zwischenüberlegung über das transzendente Prinzip der Vernunft, nämlich den „transzendentalen Idealismus“, löst Kant die denkbare kosmologische Dialektik auf und grenzt die Erscheinungen / Vorstellungen aufgrund empirischer Wahrnehmung, mit denen es der Verstand zu tun hat, vom intelligiblen Bereich der transzendentalen Ideale ab, der allein der Vernunft „im Gehirn“ bzw. „Gemüt“ zugänglich ist. Raum und Zeit gehören dabei auf die Seite der empirischen Erfahrung, die durch eben diese „Formen“ Anschauungen ermöglicht.

*Wir haben in der transzendentalen Ästhetik hinreichend bewiesen: daß alles, was im Raume oder der Zeit angeschauet wird, mithin alle Gegenstände einer uns möglichen Erfahrung, nichts als Erscheinungen, d.i. bloße Vorstellungen sind. die, so wie sie vorgestellt werden, als ausgedehnte Wesen, oder Reihen von Veränderungen, außer unseren Gedanken keine an sich gegründete Existenz haben. Diesen Lehrbegriff nenne ich den transzendentalen Idealismus. Der Realist in transzendentaler Bedeutung macht aus diesen **Modifikationen unserer Sinnlichkeit** an sich subsistierende Dinge, und daher bloße Vorstellungen zu Sachen an sich selbst.*

Jener Raum selber aber, samt dieser Zeit, und, zugleich mit beiden, alle Erscheinungen, sind doch an sich selbst keine Dinge, sondern nichts als Vorstellungen, und können gar nicht außer unserem Gemüt existieren, und selbst ist die innere und sinnliche Anschauung unseres Gemüts (als Gegenstandes des Bewußtseins), dessen Bestimmung durch die Sukzession verschiedener Zustände in der Zeit vorgestellt wird, auch nicht das eigentliche Selbst, so wie es an sich existiert, oder das transzendente Subjekt, sondern nur eine Erscheinung, die der Sinnlichkeit dieses uns unbekanntes Wesens gegeben worden. Das Dasein dieser inneren Erscheinung, als eines so an sich existierenden Dinges, kann nicht eingeräumt werden, weil ihre Bedingung die Zeit ist, welche keine Bestimmung irgend eines Dinges an sich selbst sein kann. In dem Raume aber und der Zeit ist die empirische Wahrheit der Erscheinungen genügend gesichert, und von der Verwandtschaft mit dem Traume hinreichend unterschieden, wenn beide nach empirischen Gesetzen in einer Erfahrung richtig und durchgängig zusammenhängen.

*Es sind demnach die Gegenstände der Erfahrung niemals an sich selbst, sondern nur in der Erfahrung gegeben, und existieren außer derselben gar nicht. ... Uns ist wirklich nichts gegeben, als die Wahrnehmung und der empirische Fortschritt von dieser zu andern möglichen Wahrnehmungen. Denn an sich selbst sind die Erscheinungen, als bloße Vorstellungen, nur in der Wahrnehmung wirklich, die in der Tat nichts anderes ist, als die Wirklichkeit einer empirischen Vorstellung, d.i. Erscheinung. Denn, daß sie an sich selbst, ohne Beziehung auf unsere Sinne und mögliche Erfahrung, existiere, könnte allerdings gesagt werden, wenn von einem Dinge an sich selbst die Rede wäre. **Es ist aber bloß von einer Erscheinung im Raume und der Zeit, die beides keine Bestimmungen der Dinge an sich selbst, sondern nur unserer Sinnlichkeit sind, die Rede;** daher das, was in ihnen ist (Erscheinungen), nicht an sich etwas, sondern bloße Vorstellungen sind, die, wenn sie nicht in uns (in der Wahrnehmung) gegeben sind, überall nirgend angetroffen werden.*

*Das sinnliche Anschauungsvermögen ist eigentlich nur eine Rezeptivität, auf gewisse Weise mit Vorstellungen affiziert zu werden, deren Verhältnis zu einander eine reine Anschauung des Raumes und der Zeit ist (lauter Formen unserer Sinnlichkeit), und welche, so fern sie in diesem Verhältnisse (dem Raume und der Zeit) nach Gesetzen der Einheit der Erfahrung verknüpft und bestimmbar sind, Gegenstände heißen. **Die nichtsinnliche Ursache dieser Vorstellungen ist uns gänzlich unbekannt,** und diese können wir daher nicht als Objekt anschauen; denn dergleichen Gegenstand würde weder im Raume, noch der Zeit (als bloßen Bedingungen der sinnlichen Vorstellung) vorgestellt werden müssen, ohne welche Bedingungen wir uns gar keine Anschauung denken können.*

Wenn ich mir demnach alle existierende Gegenstände der Sinne in aller Zeit und allen Räumen insgesamt vorstelle: so setze ich solche nicht vor der Erfahrung in beide hinein, sondern diese Vorstellung ist nichts anderes, als der Gedanke von einer möglichen Erfahrung, in ihrer absoluten Vollständigkeit. In ihr allein sind jene Gegenstände (welche nichts als bloße Vorstellungen sind) gegeben. [Hervorhebungen von mir.]

Starker Tobak? Starker Tobak! Pure Subjektivität? Nein, sondern Bindung aller möglichen und wirklichen Erfahrung an die empirische Wahrnehmung unserer Sinne – was sonst sollte Erfahrung ermöglichen? Hierbei spielen für Kant Raum und Zeit die entscheidende Rolle als äußere und inneren Formen unserer Anschauung, die auf empirischer Erfahrung beruht. Allein auf der „Bühne“ unseres Vorstellungsvermögens spielen wirkliche (in Raum und Zeit gegebene) Gegenstände, Empirie, Kausalität und Naturgesetze eine, nein DIE entscheidende Rolle. Klingt dies nicht ungeheuer modern und aktuell? Der Raum ist nicht absolut, nicht die *black box* Newtons, die Zeit nicht die absolute Bewegung der Veränderung in einem Raumkasten. Ich behaupte mal: Einsteins „Raumzeit“, die vierdimensionale Raumzeit der Allgemeinen Relativitätstheorie und die modernen Auffassungen des Kosmos als fluktuierende Felder, aus dem Vakuum heraus Materie / Energie entstehen zu lassen und so allererst eine gekrümmte Raumzeit zu schaffen (→ Quantenfeldtheorien) - entsprechend unseren besten Beobachtungen, Messungen und Theorien - , diese Auffassungen stehen Kant¹ viel näher als Newton oder unserem Alltagsverständnis von Raum, Zeit und Welt, wie wir sie uns praktisch und handlich vorstellen. Schauen wir auf einige Aussagen der modernen Physik und Kosmologie.

¹ Für Kant ist dies nur die eine Seite. Der transzendente Idealismus erweitert und bestimmt die Möglichkeiten der Vernunft jenseits von Wahrnehmungen und Vorstellungen im Bereich der intelligiblen Ideale.

Spektrum Lexikon:

Raum und Zeit existieren nicht weiter als absolute Größen wie in der klassischen Physik, sondern sind selbst dynamisches Objekt, physikalische Größe, ein komplexes Tensorfeld, eine Metrik. Diese Raumzeit kann in Abwesenheit von Materie und Energie flach sein, dann handelt es sich um die Minkowski-Metrik. Die Raumzeit ist jedoch im Allgemeinen durch Massen oder allgemein gesagt Energieformen gekrümmt. Dann muss die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) zur Beschreibung bemüht werden. Besonders ausgeprägt ist die Krümmung der Raumzeit bei Schwarzen Löchern, die durch die Schwarzschild-Metrik (statisch) oder Kerr-Metrik (rotierend) beschrieben werden. Die Krümmung wird erst nahe am Schwarzen Loch besonders hoch und verschwindet bei großen Abständen. Die Relativisten sagen: Dort ist die Metrik asymptotisch flach. Es ist durchaus eine nicht triviale Aufgabe, wie man sich Raumzeit vorzustellen hat.

Der Zeitbegriff wird in der Relativitätstheorie zur relativen Zeit verallgemeinert: Zeit hängt vom Beobachter ab. Im Studium dynamischer, relativistischer Phänomene in der numerischen ART begegnet man deshalb der Frage, welchen Beobachter man wählen soll, um den zeitlichen Ablauf von Prozessen zu untersuchen.

Die Steifheit der Raumzeit ist ein Glücksfall für die Menschheit, weil sie die Entwicklung und den Erhalt von Leben begünstigt, indem eine relativ stabile Umgebung gewährleistet wird. Wäre die Raumzeit dehnbarer als beobachtet, so wären wir sicherlich nicht hier. Dieser Aspekt darf gerne im anthropischen Prinzip Berücksichtigung finden.

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/raumzeit/393>

Vakuum und Quantenfluktuationen. Seit der Entwicklung der Quantentheorie in der modernen Physik des 20. Jahrhunderts ist klar, dass es ein ideales Vakuum im Sinne von 'Abwesenheit von Teilchen' nicht gibt! Das Quantenvakuum ist angefüllt mit virtuellen Teilchen, die im Rahmen der Heisenbergschen Unschärfe sich für kurze Zeit Energie 'aus dem Nichts' leihen können. Diesen Sachverhalt nennen Physiker auch Vakuum- oder Nullpunktsfluktuationen.

Das Vakuum hat also eine komplizierte Struktur. Vom Standpunkt der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) kann man ein relativistisches Vakuum sehr eindeutig formulieren: Hier muss der Energie-Impuls-Tensor verschwinden. Die rechte Seite der Einsteinschen Feldgleichungen ist also null und die Aufgabe besteht darin, nun Lösungen zu finden, für die der Einstein-Tensor verschwindet. Diese Lösungen nennt man Vakuum-Raumzeiten oder Vakuumlösungen der ART. Ein triviales Beispiel einer Vakuum-Raumzeit ist die Minkowski-Metrik, die die fundamentale, flache Raumzeit der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) ist.

In der relativistischen Kosmologie kennt man ebenfalls Vakuum-Raumzeiten, wie die materiefreie de-Sitter-Lösung. Freilich ist diese Raumzeit ohne Sinn für ein reales Universum, weil dieses doch Materie, z.B. uns selbst, enthält. Eine neue Form von regulären Raumzeiten greift jedoch auf die de-Sitter-Raumzeit zurück: ... Das de-Sitter-Vakuum besteht nicht aus baryonischer Materie, sondern aus Dunkler Energie. Die Anti-de-Sitter-Raumzeiten haben an Bedeutung in der modernen Feldtheorie gewonnen.

Es war ein nahe liegender Ansatz, die Dunkle Energie als eine Manifestation des Quantenvakuums zu interpretieren: Das Universum ist in allen Bereichen angefüllt mit dem Quantenvakuum. Die entsprechende Energiedichte ist zwar sehr gering, wird jedoch zu späten Epochen des

Kosmos dynamisch relevant. Wir leben im so genannten Dunkle Energie dominierten Kosmos (Rotverschiebung $z \sim 0$). Im frühen Universum hingegen war die die Dunkle Energie dynamisch irrelevant, denn die Energiedichten von Strahlung und Materie bestimmten hier die Dynamik. Die Interpretation der Dunklen Energie als Quantenvakuum birgt jedoch ein schwer wiegendes quantitatives Problem: Die Energiedichte des Quantenvakuums liegt mit 10^{92} g/cm^3 etwa 120 Größenordnungen über dem astronomisch beobachteten Wert von unter 10^{-29} g/cm^3 ! ... Die astronomischen Beobachtungen legen derzeit nahe, dass die Dunkle Energie im Kosmos am besten mit Einsteins kosmologischer Konstante Λ assoziiert werden kann.

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/vakuum/507>

Raum, Zeit, Universum - Die Rätsel des "Beginns" (Theoretische Physik Uni Heidelberg)

Raum und Zeit sind Eigenschaften des Materiellen

- Raum ist nicht „einfach da“ und wir bewegen uns in ihm.
- Raum ist nicht starr.
- Zeit ist nicht „einfach da“ und starr.
- Wo nichts Materielles ist, gibt es auch keinen Raum und keine Zeit !
- „Außerhalb des Universums“ ist nicht sinnvoll.
- „Vor dem Universum“ ist nicht sinnvoll.

(1) Raum und Zeit sind Eigenschaften des Materiellen

In Abwesenheit von Teilchen : Raum und Zeit sind Eigenschaften des Vakuums
Raumzeit wird vom Materiellen beeinflusst.

Das Vakuum ist nicht leer. Physikalische Gesetze hängen vom Zustand des Materiellen ab.

Metrisches Feld

- Im Vakuum gibt es Felder und ihre Fluktuationen
- Magnetfeld : an jedem Ort und zu jeder Zeit : drei Größen
- Metrisches Feld oder Gravitationsfeld : an jedem Ort und zu jeder Zeit: zehn Größen

Das Gravitationsfeld ist die Metrik der Raumzeit Geometrie wird dynamisch! Geometrie gekrümmter Räume - Kein Raum, keine Zeit ohne Metrik

(2) Die Eigenschaften von Raumzeit werden durch metrisches Feld beschrieben

Feld - Relativität

- Zusätzlich zur Metrik gibt es weitere Felder
- Skalarfeld (Kosmon) : eine Größe an jedem Ort und zu jeder Zeit

- Unterschiedliche Wahl der Metrik möglich
- Unterschiedliche Bilder der Geometrie
- Verschiedene Bilder beschreiben gleichwertig die Realität

(3) Zeit, Raum und Geometrie sind nicht eindeutig

Expandierendes Universum oder schrumpfende Atome?

Verschiedene Bilder sind möglich!

(4) Was passiert am „Urknall“ ?

- Die Massen aller Teilchen gehen gegen Null
- Alles bewegt sich wie Lichtquanten
- Am „Anfang“ war ewiges Licht-Vakuum

Licht währte ewig, und Alles ward aus Licht ??

<https://www.thphys.uni-heidelberg.de/~wetterich/Talks/Cosmo/Y1517/>

[Raum_Zeit_Urknall_Schladming0216.pdf](#)

Zusammenfassung (Gemini 2.5)

Der Satz "Raum und Zeit existieren nicht unabhängig von Materie; in gewissem Sinne sind sie Eigenschaften des Vakuums, die durch die Anwesenheit von Materie beeinflusst werden" bedeutet:

- Raum und Zeit sind keine leere, passive Bühne, sondern ein aktives, dynamisches Gefüge – die Raumzeit.
- Dieses Gefüge hat eine grundlegende Struktur (das "Vakuum" der Raumzeit), die in sich die Fähigkeit zur Krümmung trägt.
- Materie und Energie sind die "Verursacher" dieser Krümmung. Sie sind die Quelle der Gravitation, indem sie die Geometrie der Raumzeit lokal verändern.
- Es gibt keine Raumzeit ohne Materie und Energie in unserem Universum (obwohl theoretisch eine leere, flache Raumzeit denkbar ist, aber das ist ein abstraktes Konstrukt). Materie und Energie "schaffen" die lokale Geometrie der Raumzeit und sind untrennbar mit ihr verbunden.

Es ist diese fundamentale Verbindung, die die Allgemeine Relativitätstheorie so revolutionär macht und unser Verständnis des Universums von Grund auf verändert hat.

Vorläufiges Fazit

Raum, Zeit und Kosmos sind durch die Allgemeine Relativitätstheorie Einsteins und die weiterentwickelten Quantenfeldtheorien zu dynamischen Größen geworden. Materie und Energie „schaffen“ die jeweilige Metrik der Raumzeit. Eine „flache“ (=leere) Raumzeit hat keinen Realitätsgehalt, denn das Vakuum ist nicht „leer“. Zur Beschreibung des Kosmos und der darin wirkenden Raumzeit werden verschiedene mathematische Modelle, verschiedene Geometrien und damit unterschiedliche „Bilder“ verwandt. Diese Bilder hängen von der empirischen Wahrnehmung unserer besten Beobachtungen und ihrer mathematischen Deutung (Geometrie), das heißt der besten mathematischen Modelle ab, die unsere „Naturgesetze“, die Regularitäten im Kosmos, beschreiben. Es sind Deutungen auf der Basis naturwissenschaftlicher Vorstellungen, abhängig vom besten Sensorium, das Wissenschaft und Technik jeweils bereitstellen. „Die Welt“ als unser Kosmos ist physikalisch und astronomisch dasjenige entwicklungsfähige und entwicklungsbedürftige Konstrukt, das uns gegenwärtig die besten Erklärungen und Voraussagen ermöglicht. Modelle, Mathematik, Geometrie, Empirie sind dabei keinesfalls beliebig, sondern streng gebunden an die Summe unserer Beobachtungen, Messwerte, Daten und Theorien. Empirische, „sinnliche“ Erfahrung und Theoriebildung „im Kopf“ sind die verlässlichen Mittel, die Wirklichkeit des Kosmos mit allen uns zugänglichen Gegenständen und Ereignissen mittels Metriken und Geometrien („in Raum und Zeit“) aufzufassen und abzubilden.

War es nicht genau das, was auch Immanuel Kant sagen wollte? Sehr dicht dran, jedenfalls. „Vorläufig“ ist dies Fazit, weil auch unser bestes Wissen immer nur vorläufig ist und besserer Einsicht weichen muss.

Genialer Herr Kant!

© Reinhart Gruhn, Juli 2025 [CC 4.0 BY SA]

<https://phomi.de/?p=4913>