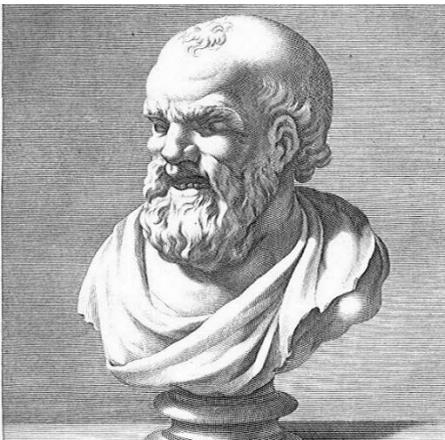


Auf der Suche nach der „Großen vereinheitlichten Theorie“

Reinhard Mawick

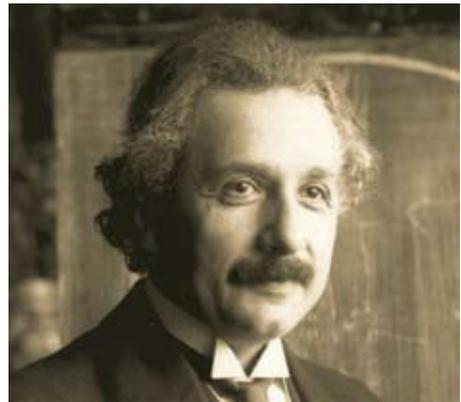
Seitdem es denkende Wesen auf der Erde gibt, stellen sie sich die Frage nach der Entstehung der Welt. Es ist wohl die grundsätzlichsste Frage, die sich Wesen, die im Laufe ihrer Entwicklung Bewusstsein und eine Vorstellung von der Welt entwickelt haben, stellen können. Sie beobachten das Werden und Vergehen an sich, in ihrem Umfeld, in der belebten und unbelebten Natur. Da kommt man zu dem Schluss, dass es so etwas auch für „die Welt“ geben muss.

Menschen haben das Werden und Vergehen mit Schöpfungsmythen erklärt, es sind Religionen entstanden (und auch vergangen).



Vor ca. 2.400 Jahren postulierte Demokrit eine atomare Struktur des Aufbaus der Welt: „Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe, nur scheinbar ist es süß oder bitter; in Wirklichkeit gibt es nur Atome im leeren Raum“.

Ungefähr 2000 Jahre später formulierte Newton seine Theorie der Gravitation. Er erklärte uns, warum uns Äpfel auf den Kopf fallen können, warum ein Ball fliegen kann. Auf Grund seiner Theorien konnten Menschen bis zum Mond fliegen und künstliche Satelliten mittlerweile bis zur Grenze des Sonnensystems.



Einstein verdichtete diese Newtonschen Theorien zu seinen Relativitätsprinzipien. Er zeigte uns, dass Raum und Zeit keine Bühne für „die Welt“ und die „Weltenläufe“ sind, sondern dass Raum und Zeit die Welt sind, zumindest Teile der Welt und in Interaktion mit der Masse stehen.

Planck erkannte, dass Materie in Ausdehnung und Zeitverhalten endlich ist.

Er erkannte auch sehr früh die Bedeutung der Arbeiten Einsteins und war maßgeblich daran beteiligt, dass sie sich in Deutschland durchsetzen konnten. Er unterstützte Einstein maßgeblich bei der Ausarbeitung der SRT (Spezielle Relativitäts-Theorie).

Ein weiteres Problem trat auf, denn die Welt ist (im Kleinen) nicht deterministisch, die Quantentheorie spricht nur von Wahrscheinlichkeiten, von statistischen Aussagen.

Einstein hingegen war skeptisch: „Die Quantenmechanik ist sehr achtungsgebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, daß das noch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, daß der Alte nicht würfelt.“

Die Physiker mussten „ihre“ Theorien neu formulieren. Waren die alten Theorien falsch oder mussten sie „nur“ erweitert werden? Die Suche nach der Weltformel wurde forciert.

Die Bühne wurde betreten von String- und M-Theorien, Loop-Quantengravitation (LQG), Euklidische Quantengravitation, Kausale Dynamische Quantentriangulation, den Inflationsmodellen.

Eine überaus knappe (ES sei Dank!) Darstellung der LQG folgt im Anschluss, weitere Beiträge zu den anderen Theorien und zu Hawkings aktueller Sicht des Universums sollen in lockerer Folge erscheinen.

Schleifenquantenkosmologie / Schleifenquantengravitation (LQG - Loop Quantum Gravity)

Die Schleifen-Quantengravitation kennt keine klassische Raumzeit, es gibt keinen glatten Raum, keine glatte

Zeit, auf und in der sich die Vorgänge der Physik „abspielen“ oder die sich durch den Einfluss von Masse krümmen und so den Eindruck von Gravitation vermitteln kann. Stattdessen gibt es ein „Netzwerk“ von „Raum- bzw. Raumzeitatomen“, in der LQG als „**Spin-Netzwerk**“ bezeichnet. Die Spins sitzen dabei auf den Knoten des Netzwerks. Die Verbindungslinien sind durch eine mathematische Struktur definiert. Dieses „Netz“ befindet sich nicht in der Raumzeit, es ist das quantenmechanische Äquivalent der „RaumZeit“.

Man kann sich dies gut mit einem Bild vorstellen; ein mikroskopisches Bild der Wasseroberfläche unter Einbeziehung der Atomphysik. Es gibt in dieser „Auflösung“ keine glatte Wasseroberfläche mehr, sondern nur die wechselwirkenden, fundamentalen Atome. Die Wasseroberfläche mit ihren Eigenschaften (Oberflächenspannung, Wellen, Dichte etc) ist sekundär, unser makroskopisches Bild der Wasseroberfläche gründet sich auf den fundamentalen Atomen. Das heißt nicht, dass es keine Wasseroberfläche gibt, sondern dass auf einem fundamentalere Niveau als dem unserer Alltagsbeobachtung die Atome und nicht Dichte, Oberflächenspannung, Wellen oder anderes die Eigenschaften der Wasseroberfläche bestimmen.

Ebenso verhält es sich mit den RaumZeit der LQG. Fundamental sind hier die

„Spin-Netzwerke“, **also die Spins an den Knoten, die Verbindungslinien zwischen den Spins sowie mathematische Formeln, die die Dynamik des Spinnetzwerkes beschreiben.** Diese Dynamik besteht im Wesentlichen darin, dass innerhalb dieses Netzes

neue Knoten entstehen können, die wiederum mit existierenden Knoten durch neue Verbindungslinien verknüpft sind.

Das Bild der uns bekannten Raumzeit entsteht nun ähnlich wie oben das Bild der Wasseroberfläche, bzw. wie beim Schaum. Ein Knoten entspricht einer Zelle des Schaumes, d. h. er repräsentiert ein elementares Volumen. Benachbarte Volumina sind durch Grenzflächen getrennt; diese Grenzflächen werden durch eine Verbindungslinie zwischen den Knoten repräsentiert. **Man bezeichnet dieses Bild als dual zu dem Bild des Schaumes.** Es ist jedoch tatsächlich allgemeiner als das Bild des Schaumes, da z. B. auch Verbindungslinien zwischen „weit ausei-

inander liegenden“ Knoten erlaubt sind, während im Schaum eben nur Grenzflächen zwischen direkt benachbarten Volumina auftreten.

Wichtig: man darf sich das Spinnnetzwerk nicht „im Raum“ vorstellen, sondern es „ist“ der Raum selbst. Eliminiert man alle Spins, d. h. alle Knoten, so bleibt kein leerer Raum mehr übrig, sondern der Raum ist vollständig verschwunden!

Wie entsteht nun die makroskopische Raumzeit? Dies ist noch Gegenstand aktueller Forschung, da hier noch nicht alle mathematischen Probleme abschließend gelöst sind. Im Wesentlichen hat man dabei das Bild eines extrem großen Spinnnetzwerkes vor Augen, das für größere Entfernungen in das Bild der klassischen Raumzeit übergeht (so wie man makroskopisch auch nur die Wasseroberfläche und nicht die einzelnen Atome wahrnimmt). Wichtig ist dabei, dass diese so aus der LQG hervorgehende RaumZeit wieder die uns bekannten Eigenschaften aufweist (ART - Allgemeine Relativitäts-Theorie, Newtonsches Gravitationsgesetz als Näherung, ...).

Die Rolle der Zeit in der LQG (bzw. generell in den Theorien der Quantengravitation) ist dabei ebenfalls noch Gegenstand der Forschung. Denn im Bild der Spinnnetzwerke gibt es keine kontinuierlich verlaufende Zeit. Stattdessen gibt es nur „Ticks“ einer elementaren Uhr, ein Tick entspricht dabei z. B.

dem Entstehen eines neuen Knotens im Spinnnetzwerk. Dies ist vergleichbar mit der Planck-Zeit ($t_p \approx 10^{-43}$ s), der Zeit, die das Licht benötigt, die Plancklänge zu durchlaufen. Ein makroskopischer Begriff von Zeit entsteht ebenfalls erst als abgeleitete Größe.

Die Stärke der LQG besteht nach Bojowald darin, „dass sie die Veränderlichkeit der Raumzeit zu erfassen vermag“.

Einstein hatte bereits erkannt, dass die Raumzeit nicht bloß die Bühne ist, auf der das Drama des Universums gegeben wird. Die RaumZeit ... „spielt selbst aktiv mit, sie bestimmt nicht nur die Bewegungen der Himmelskörper im Universum, sondern entwickelt sich“ (Bojowald 2010).

Die LQG erweitert diese Einsteinsche Erkenntnis bis in die Welt der Quanten. Da sie unsere gewohnten Kenntnisse über Materieteilchen auf die oben beschriebenen Spins, Knoten und Netze des Spinnnetzwerkes anwendet und damit die RaumZeit-Atome definiert, erstellt sie eine einheitliche Sprache und Sicht unserer grundlegendsten Begriffe. Die Größe der RaumZeit-Atome postuliert Bojowald mit einem Fünftel der Planck-Länge ($L_p \approx 10^{-35}$ m).

In der Quantentheorie wird ein Vakuum als etwas beschrieben, in dem es keine Photonen oder andere baryonische Teilchen gibt und jede Energiezufuhr dort neue Teilchen erzeugt. In der LQG wird Vakuum durch die Abwesenheit

von RaumZeit (-Atomen) beschrieben. Mehr Leere ist nicht vorstellbar.

Über die Knoten und Verbindungslinien entstehen elementare Quanten des Raumes. Es gibt keine unendlich kleine Fläche bzw. kein unendlich kleines Volumen, sondern ein einzelner Knoten repräsentiert das minimal erlaubte Volumen. Das Volumen ist also diskret (kein Raum = Volumen Null, ein Knoten = minimales Volumenquant). Ähnlich verhält es sich mit Flächen: eine Verbindungslinie repräsentiert ein minimales Flächenquant. Für Längen gilt dies analog, allerdings ist die Beschreibung der Länge in der LQG wesentlich komplizierter.

So wie in der Atomphysik bzw. Quantenmechanik diskrete Energieniveaus auftreten, so treten in der LQG diskrete Volumina und Flächen auf. Diese Diskretheit ist auch der Grund, warum in der LQG Objekte wie schwarze Löcher und der Urknall keine unphysikalischen Singularitäten entwickeln können.

Martin Bojowald hat hierzu ein sehr prägnantes Bild entwickelt: dass so ein Schwamm nur eine begrenzte Menge Wasser aufnehmen kann und in dem Augenblick, indem man einem „gesättigten“ Schwamm weiteres Wasser zuführt, es zu einer Art Rückprall kommt. Er gibt dann mehr Wasser ab, als ihm zugeführt wird. Bojowald führt damit aus, dass ein atomarer Quantenraum (ein Raumatom) porös ist und nur eine endliche Menge an Materie (= Energie)

aufnehmen kann und dann, wenn die Dichte eine bestimmte Grenze erreichte (Planck-Dichte), es zu einem Rückprall (Abstoßungskräfte) kommt.

Es entstehen fundamentale diskrete Strukturen, die jedoch mathematisch wohldefiniert bleiben. Auch hier hilft wieder ein Vergleich mit der Atomphysik: betrachtet man ein Atom klassisch, so würde man erwarten, dass das Elektron in das „unendlich tiefe Coulomb-Potential“ fallen kann, wobei es unendlich negative Energie annehmen würde. Quanteneffekte sorgen nun dafür, dass es ein niedrigstes Energieniveau gibt, unterhalb dessen ein Elektron im Coulomb-Potential einfach nicht existieren kann. Ähnliche Mechanismen treten auch in der LQG auf.

In der LQG ändert sich damit bei zunehmender Dichte das Gleichgewicht der Kräfte und es kann kein Zustand unendlicher Dichte, eine Singularität, entstehen.

Der kontinuierliche Raum der ART hingegen kann unbegrenzt viel Energie aufnehmen (Speicher) und ermöglicht so die mathematischen Artefakte namens Singularität.

Im Modell der LQG hatte das früheste Universum eine sehr hohe, aber endliche Dichte. Bojowald postuliert eine Dichte von einer Billion Sonnenmassen im Raum einer Größe eines Protons (Planck-Dichte). Unter diesen Umständen wirkte die Gravitation als abstoßende Kraft und verursachte eine

Expansion des Raumes in der Zeit. Erst als die Dichte moderatere Werte erreicht hatte, wurde die Gravitation zur Anziehungskraft, wie wir sie heute kennen. Die abstoßende Schwerkraft des frühesten Universums ließ den Raum beschleunigt expandieren. Diese „Inflation“, die sich aus kosmologischen Beobachtungen ergibt, musste in das Standardmodell künstlich eingefügt werden, um sie den Beobachtungen anzupassen; von der String-Theorie wurde sie postuliert, folgte aber ebenso wenig aus ihr, in der LQG ergibt sie sich wie selbstverständlich aus der „Körnigkeit“ des Universums in seiner frühesten, kleinsten Zeit.

Wenn es also keine Singularität des Anfangs, keine Schöpfung, kein Entstehen von Raum und Zeit im Urknall gegeben hat, sind die Fragen „was war vorher?“, „was war der Grund für den Anfang der Welt?“ wieder stellbar geworden.

Wenn es keine Singularität gibt die den Anfang der Zeit markiert, könnte die Geschichte des Universums früher begonnen haben.

Der Urknall „BIG BANG“ wäre dann ein „BIG BOUNCE“ gewesen (Umschwung, in der Entsprechung zu „Urknall“ besser „Urschwung“).

Die Beschreibung des Urknalls als Übergang findet sich nicht nur in der LQG (M. Bojowald, A. Ashtekar et al.), sondern auch bei Hawking, Hartle und Hertog (2008) oder Veneziano, Gasperini im Rahmen der String Theorie.

Man darf sich diesen Übergang nicht wie einen Rückprall eines kurzen Stoßes, vergleichbar einem Ball, der auf die Erde fällt und wieder zurückprallt, vorstellen, sondern als Endpunkt eines unergründlichen Quantenzustandes, aus dem unser Universum auftaucht und in dem das vorherige untergegangen ist. In diesem Quantenschaum schwankten Materie und Energie so stark und zufällig, dass keine Informationen durch diesen BIG BOUNCE hindurch in unser Universum kamen. Hawking et al. hingegen gehen davon aus, dass die Zeitrichtung unseres Vorgängeruniversums entgegengesetzt verlief. Ereignisse der einen Seite könnten damit KEINEN Effekt auf die Ereignisse der anderen Seite haben.

M. Bojowald beschreibt die von ihm maßgeblich geprägte LQG subtiler als das Modell der ART, die an den Grenzbedingungen unseres Universums versage. Anders das Modell der LQG, die hingegen die dort herrschenden Extrembedingungen kontrollieren könne.

Im Falle der materiellen Atome vergingen 2.400 Jahre, bis das Postulat griechischer Atomisten um Demokrit durch Albert Einsteins Analyse der „Brownschen Bewegung“ nachgewiesen werden konnte.

Martin Bojowald ist der festen Überzeugung, dass es bei den RaumZeit-Atomen ganz so lang nicht dauern wird.