
Hochschulgottesdienst, 6.2.2011, St. Moritz

... und es ward Licht: Ein Blick auf den Anfang der Welt

Gert-Ludwig Ingold

Gott sprach: Es werde Licht. Und es wurde Licht.

An kaum einer anderen Stelle in der Bibel begegnen sich Religion und Physik so unmittelbar wie hier im Buch Genesis, wo von der Erschaffung der Welt die Rede ist. Die Ziele von Religion und Physik sind jedoch sehr unterschiedlich. So ist in der Bibel nicht nur vom Ablauf der Schöpfungsgeschichte, die durchaus nicht wörtlich zu verstehen ist, die Rede, sondern vor allem von der Ursache, dem Schöpfer:

Im Anfang schuf Gott Himmel und Erde; [...]

Die Physik dagegen fragt nicht nach der Ursache, sondern versucht, ein konsistentes Verständnis der Abläufe, wie wir sie heute in der Natur beobachten, zu erzielen. Dabei müssen sich theoretische Beschreibungen an der Überprüfung im Experiment messen lassen. In einem Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment sind in den letzten vier Jahrhunderten seit Galilei eine Unzahl physikalischer Phänomene durch Theorien beschreibbar geworden, so dass ein ganzes Theoriegebäude entstanden ist, das durch seine Komplexität zugleich eine große Stabilität gewonnen hat. Wir können heute nicht nur unsere Alltagswelt zuverlässig physikalisch beschreiben, sondern weit darüber hinaus einerseits auch die Welt der kleinsten Bausteine der Materie und andererseits die Vorgänge in den Tiefen des Weltalls verstehen. Dennoch wissen wir gleichzeitig, dass wir in unserem Bemühen, die unbelebte Natur umfassend zu verstehen, noch nicht am Ende angekommen sind.

Während die Natur, in der wir aktuell leben, unserer Beobachtung und gezieltem Experimentieren zugänglich ist, stellt sich dem Physiker bei der Frage nach dem Anfang des Universums eine Schwierigkeit, die Robert Musil in seinem *Mann ohne Eigenschaften* auf den Punkt bringt, wenn er seinen Protagonisten Ulrich sagen lässt:

[...] die große Verlegenheit, die Gott der Wissenschaft bereitet, besteht darin, daß er nur ein einzigesmal gesehen worden ist, und das bei der Erschaffung der Welt, ehe noch geschulte Beobachter da waren.

Wie soll die Physik, für die die Beobachtung eine so zentrale Bedeutung spielt, etwas über dieses knapp 14 Milliarden Jahre zurückliegende Ereignis aussagen, wenn damals keine Physiker zugegen waren? Bleibt uns nur der Glaube an die christliche Schöpfungsgeschichte?

Physikalische Erkenntnis ist zudem nicht nur mit der Beobachtung an sich verknüpft, sondern mit deren Reproduzierbarkeit. Ein Experiment muss zumindest im Prinzip wiederholt werden können und dann, abgesehen von Messfehlern, gleiche Ergebnisse liefern. Musil macht auch auf diesen Punkt aufmerksam wenn er schreibt:

Was etwas gelten soll und einen Namen tragen, das muss sich wiederholen lassen, muss in vielen Exemplaren vorhanden sein, und wenn du noch nie den Mond gesehen hättest, würdest du ihn für eine Taschenlampe halten; [...]

Muss der Naturwissenschaftler hier also kapitulieren und der Religion das Feld überlassen? Oder kann der Physiker dennoch Licht in das Dunkel der Vorgänge am Anbeginn der Zeit bringen? Durchaus – vorausgesetzt man nutzt die Möglichkeiten, die uns die Natur hierzu anbietet.

Nachdem man das Universum als Ganzes nicht ins Labor holen und mit ihm experimentieren kann, besteht eine naheliegende Möglichkeit darin, den Blick zum Firmament zu richten, wie es Menschen schon seit Urzeiten tun. Entsprechend spielte der Himmel schon immer eine entscheidende Rolle für das Bild von der Welt, das sich die Menschheit macht und welches sie weiterentwickelt – denken wir nur an die kopernikanische Wende, die die Erde aus dem Zentrum der Welt verbannte.

Bei dem weit überwiegenden Teil der Signale, die wir aus dem Universum empfangen, handelt es sich um Licht im weiteren Sinne, also um alle möglichen Arten elektromagnetischer Strahlung, angefangen von Radiosignalen über das sichtbare Licht bis hin zu Röntgenstrahlen. Nachdem wir an dieser Stelle mit dem Auskommen müssen, was uns der Himmel anbietet, besteht die Kunst der Astrophysik darin, aus diesen Signalen ein Maximum an Information herauszuholen, was heute auch in immer wieder beeindruckender Meisterschaft gelingt.

Ein Blick in die Tiefen des Universums ist immer auch ein Blick in die Vergangenheit, denn obwohl sich Licht mit der schier unglaublichen Geschwindigkeit von dreihunderttausend Kilometern in der Sekunde fortbewegt, ist dies angesichts der Größe des Universums nicht sonderlich schnell. Von dem entferntesten, bisher beobachteten Objekt, einer Galaxie mit Namen UDFy-38135539, war das Licht etwas über dreizehn Milliarden Jahre zu uns unterwegs. Damit wurde dieses Licht zu einer Zeit ausgesandt, als das Universum noch nicht einmal ein Zwanzigstel seines jetzigen Alters hatte.

Der Blick in die Vergangenheit verrät uns etwas über die Entwicklung des Universums. So wissen wir seit dem Ende der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts aufgrund

von Arbeiten des belgischen Priesters und Astrophysikers Georges Lemaître und den Beobachtungen Edwin Hubbles, dass das Universum nicht statisch ist, sondern der Raum sich im Laufe der Zeit ausdehnt. Blickt man rückwärts in der Zeit, so muss sich das Universum zusammenziehen. Damit hielt die Idee, dass das Universum einen Anfang hatte, Einzug in die Physik. Der Begriff des *big bang*, zu deutsch Urknall, wurde geprägt.

Neben dem Licht von astronomischen Objekten wie zum Beispiel Galaxien oder Supernovae beobachten wir auch Strahlung, die aus allen Richtungen auf die Erde fällt: die so genannte kosmische Hintergrundstrahlung. Deren Existenz wurde 1964 von den Amerikanern Penzias und Wilson eigentlich zufällig in der Form eines Störsignals nachgewiesen. Im sehr frühen Universum wurde das Licht aufgrund der in großer Zahl vorhandenen, elektrisch geladenen Teilchen ständig gestreut. Ähnlich wie im Augsburger Herbstnebel kam es somit nicht sehr weit. Aber genauso wie sich der Nebel manchmal bei der Fahrt Richtung Gebirge plötzlich lichtet, wurde das Universum im Alter von etwa 380.000 Jahren durchsichtig. Das Licht aus dieser Zeit, das sich seither ungehindert ausbreiten konnte, beobachten wir heute als Mikrowellen, die einer Temperatur des Weltalls von knapp drei Grad über dem absoluten Nullpunkt entsprechen. Schwankungen in dieser Temperatur, die der aktuell neueste Satellit zur Beobachtung der Hintergrundstrahlung mit einer Genauigkeit von einem Millionstel Grad misst, verraten uns sehr viel über die Struktur des frühen Universums. Dabei kann der nach dem deutschen Physiker Planck benannte Satellit so scharf sehen, dass er von Ulm aus den Turm von St. Ulrich und Afra gerade noch ausmachen könnte.

Nachdem der direkte Blick auf den Anfang des Universums mit Hilfe von Licht gewissermaßen vernebelt ist, wie wir gerade gesehen haben, kann man sich fragen, ob es in Zukunft vielleicht andere Möglichkeiten geben könnte, mehr über das frühe Universum zu lernen. Die Aussichten sind nicht schlecht, auch wenn man sich sicher noch einige Zeit gedulden wird müssen. Eine prinzipielle Möglichkeit besteht in der Beobachtung von so genannten Gravitationswellen, die dazu führen, dass sich die Raum-Zeit, in der wir leben, wie ein Wackelpudding verhält. Allerdings ist das Wackeln so schwach, dass es für uns nicht direkt spürbar ist und der direkte Nachweis von Gravitationswellen trotz intensiver Bemühungen bis jetzt noch nicht gelungen ist. Dennoch wird allgemein erwartet, dass dies letztlich nur noch eine Frage der Zeit sein wird. Das langfristige Ziel wäre dann eine Astronomie, bei der statt Licht Gravitationswellen beobachtet werden.

Auch wenn wir in Zukunft die Signale aus dem All noch besser werden auswerten können, muss man sich fragen, ob man durch Experimente auf der Erde ebenfalls etwas über das frühe Universum erfahren kann. Unser heutiges Weltall ist zwar ein kalter Platz mit einer Temperatur von nicht einmal drei Grad über dem absoluten Nullpunkt. Lässt man jedoch die Zeit in Gedanken zurücklaufen, wobei sich das Universum zusammenzieht, so wird die Energie darin in einem immer kleineren Volumen konzentriert. In seiner Frühphase war das Universum durch eine ungeheuer hohe Energiedichte charakterisiert, es war unvorstellbar heiß. Damit erfordert die Beschäftigung mit dem frühen Universum nicht unbedingt einen Blick in längst vergangene Zeiten. Wir können auch heute versuchen,

die damals herrschenden Bedingungen im Labor nachzubilden, indem wir die Physik bei sehr hohen Energien studieren. Dies ist die Domäne der Elementarteilchenphysik. In dem vor nicht allzu langer Zeit in Betrieb gegangenen *Large Hadron Collider* in Genf werden unter anderem Blei-Ionen mit einer solch großen Energie aufeinandergeschossen, dass im Kleinen Bedingungen ähnlich denen erzeugt werden, die eine Millionstel Sekunde nach dem Urknall herrschten. Damals betrug die Temperatur des Universums etwa eine Billion Grad, das Hunderttausendfache der Temperatur im Sonneninneren.

Das Verständnis der Physik bei sehr großen Energien, die uns gleichzeitig nahe an den Anfang der Welt bringt, gründet wesentlich auf einer der revolutionären Entwicklungen des letzten Jahrhunderts, der Quantentheorie. Bei der Entwicklung dieser Theorie war das Phänomen Licht wesentlich beteiligt, den Weg zu weisen. Eine Jahrhunderte alte Frage, die nach der Natur des Lichts, wurde schließlich zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts beantwortet. Lange hatte man darüber nachgedacht, ob Licht wohl aus Teilchen bestünde oder eher ein Wellenphänomen sei. Der große Isaac Newton war mit seiner wissenschaftlichen Autorität verantwortlich dafür, dass man Licht bis ins neunzehnte Jahrhundert Teilchencharakter zuschrieb, obwohl auch zu seiner Zeit angesehene Kollegen für das Wellenbild plädierten. Im neunzehnten Jahrhundert kam dann die Wende und man war zunehmend davon überzeugt, dass es sich bei Licht um elektromagnetische Wellen handelt, die sich nur in ihrer Frequenz beispielsweise von Radiowellen unterscheiden.

Die scheinbar unvereinbaren Bilder – Welle oder Teilchen – wurden schließlich zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts durch Albert Einstein mittels eines »sowohl als auch« miteinander versöhnt. Doch dies hatte Konsequenzen, die nicht auf Licht beschränkt waren. Es war eigentlich nur konsequent als der französische Prinz Louis de Broglie in seiner Doktorarbeit forderte, dass das was für Licht gelte auch für die Bausteine der Materie gelten müsse. Als Konsequenz zog ein gewisses Maß an Unbestimmtheit in die atomare Welt ein.

Wie wir gesehen haben, gibt es verschiedene Möglichkeiten, etwas über den Anfang der Welt zu erfahren, sei es durch einen Blick in die Vergangenheit oder durch Experimente bei extrem hohen Energien. Der Blick auf weit entfernte Supernovae gibt uns bis zu einem gewissen Grade sogar die Möglichkeit zu untersuchen, ob sich die physikalischen Gesetze im Laufe der Zeit verändert haben. Auch wenn wir dadurch schon ein recht schlüssiges Bild von der Entwicklung des Universums erhalten haben, muss man sich fragen, wie sicher wir unserer physikalischen Beschreibung eigentlich sein können. Wird uns vielleicht nur eine Vergangenheit vorgegaukelt, die so gar nie existiert hat? Die Situation stellt sich ähnlich dar wie beim Streit zwischen Darwinisten und Kreationisten, in dem letztere gelegentlich behaupten, dass sich die Schöpfungsgeschichte exakt wie in der Bibel beschrieben abgespielt habe. Auch wenn sich über die Vergangenheit nichts absolut Sicheres sagen lassen kann, ist es wohl am sinnvollsten, das plausibelste Bild, das möglichst viele Erkenntnisse vereinigt, zu favorisieren. In diesem Sinne kann uns die Physik tatsächlich etwas über den Anfang der Welt sagen.

Dennoch sind wir noch nicht am Ende unserer Suche angekommen. Auch wenn wir experimentell schon bis zu einer Millionstel Sekunde an den Urknall herankommen, kann man sich noch weiter an dieses Ereignis herantasten. Bei einem Hunderstel eines Trilliardstels einer Trilliardstel Sekunde werden die Quantentheorie, die die atomare Welt regiert, und die Allgemeine Relativitätstheorie, die die Wechselwirkung der Massen und Energien im Kosmos beschreibt, gleichzeitig wichtig. Trotz verschiedener Versuche ist die Vereinigung dieser beiden grundlegenden Theorien bis heute nicht in überzeugender Weise gelungen. Unmittelbar nach dem Urknall hat sich die Welt in einer Weise verhalten, über die wir zur Zeit nur Vermutungen anstellen können. So wird die vorhin angesprochene, für die Quantentheorie typische Unbestimmtheit auch Raum und Zeit unmittelbar nach dem Urknall mit prägen.

Wir sind mit unseren Überlegungen in einer Phase des Universums angekommen, die mit Recht als extrem angesehen werden kann. Ob es jemals möglich sein wird, solche Bedingungen im Labor zu realisieren, kann mit einer gewissen Berechtigung bezweifelt werden. Zumindest wären hierzu ganz neue Ideen erforderlich, von denen wir heute noch keine Vorstellung haben. Andererseits ist es nicht völlig auszuschließen, dass die Physik bei extrem großen Energien Spuren bei niedrigeren Energien hinterlässt, die wir im Experiment nachweisen können. So ruhen einige Hoffnungen auf dem *Large Hadron Collider*, der uns den richtigen Weg für die weitere Entwicklung der Physik weisen könnte. Sicher ist das jedoch keineswegs. Bedenkt man, wie sich die Physik in den letzten vierhundert Jahren entwickelt hat, ist es andererseits nicht ausgeschlossen, dass in weiteren vierhundert Jahren experimentelle Techniken existieren, von denen wir heute nur träumen können. Vielleicht ist das aber nicht der Fall. Kommt die Physik an ihre Grenzen wenn das Experimentieren unmöglich wird? Das mag schon sein.

Vor nicht allzu langer Zeit hegte man noch die Hoffnung, dass man bei der Entwicklung der ultimativen Theorie ohne das Experiment auskommen würde. Diese Theorie sollte sich dadurch auszeichnen, dass sie sich als die einzig sinnvolle Theorie herausstellt. Der Gedanke, dass der Schöpfer uns mit dieser Welt eine Denksportaufgabe gestellt hat, die wir allein mit der Leistung unseres Geistes lösen können sollten, ist sicher nicht ohne Charme. Allerdings hat sich die Hoffnung auf eine einzige Theorie bisher nicht bewahrheitet, und es sieht ganz danach aus, als würde es eine Vielzahl von prinzipiell möglichen Welten geben, die mit unseren physikalischen Vorstellungen vereinbar sind.

Sicher sind wir in der Physik mit unserem Latein gegenwärtig noch nicht am Ende was die Suche nach dem Verständnis des Anfangs der Welt betrifft. Es ist anzunehmen, dass auch die Zukunft Fortschritte und vielleicht auch Überraschungen bringen wird. Ob wir jedoch jemals so weit kommen werden, den Ursprung der Welt zu enträtseln, wer vermöchte das zu sagen? Vielleicht wäre es ja auch schade, wenn die letzten Rätsel in der Physik gelöst wären und es keinen Anlass mehr gäbe, nur getrieben durch menschliche Neugier über einige der grundlegendsten Fragen nachzudenken.