

Zeit – eine lange Geschichte der Welt

Arnold Benz

Im Gegensatz zur bekannten „Kurzen Geschichte der Zeit“ möchte ich hier nicht über die Entstehung der Zeit sprechen, vielmehr darüber was sie in den vergangenen 13,7 Milliarden Jahren bewirkt hat. Eigentlich ist alles, was uns an Gegenständen und Himmelskörpern umgibt, nicht im Urknall sondern in der Zeit und als Folge der Zeit entstanden. Selbst die Materie entstand nicht im Urknall. Erst nach einer Millionstelsekunde bildeten sich die Nukleonen aus Elementarteilchen. Die Galaxien entstanden nach mehreren hundert Millionen Jahren. Sonne und Erde formten sich, als das Universum schon zwei Drittel des heutigen Alters hatte. Dann entstanden die Lebewesen, die menschliche Gesellschaft und schliesslich vor 1,89 Milliarden Sekunden auch unser Herr Rektor. Und die Zeit tickt weiter.

Zeit in der Physik

Die Zeit erscheint in der Physik dort, wo Veränderung geschieht. Am einfachsten lässt sich das in Newtons zweitem Gesetz zeigen:

$$\Delta p = K \Delta t$$

Der Impuls **p** ändert sich proportional zum Zeitintervall Δt . Den Proportionalitätsfaktor **K** nennen wir Kraft. Die Impulsänderung Δp wird grösser, so lange die Kraft wirken kann. Anders gesagt, die Zeit gewährt der Kraft die Entfaltung ihrer Potenz.

Newtons zweites Gesetz hat viele dazu verleitet, eine lineare Beziehung zwischen Veränderung und Zeit anzunehmen. Das hat aber schon Newton nicht so gemeint. Die Kraft ist natürlich von der Impulsänderung und der zeitlichen Entwicklung betroffen (man denke zum Beispiel an die Schwerkraft zwischen den Planeten) und ändert sich mit der Zeit. Setzt sie sich aus mehreren sich gegenseitig beeinflussenden Komponenten zusammen, wie im Mehrkörperproblem, wird das System chaotisch. Newtons zweites Gesetz stimmt zwar für kleine Veränderungen immer noch, aber man kann die Wirkungsgleichung der Kräfte nicht analytisch lösen und auf längere Zeitdauer genau aufsummieren. Das hat weitreichende Konsequenzen: Der Zustand eines chaotischen Systems kann nicht längerfristig voraus berechnet werden. Wir leben in einem Universum, dessen zukünftige Veränderungen unbekannt sind.

Veränderungen führen zu Neuem. Neues entsteht durch Veränderung, durch die Zeit. Das widerspricht dem Paradigma eines Uhrwerks, wo die göttliche Schöpferkraft in einer mythischen Vorzeit wirkte, als die Uhren noch nicht tickten und das zweite Newtonsche Gesetz nicht galt. In unserer Welt hingegen kann die Kraft nichts bewirken ohne Zeit. Nach den heutigen Vorstellungen brauchte das Universum viel Zeit, mindestens 10 Milliarden Jahre, damit Menschen entstehen konnten. Der grössere Teil davon war nötig, damit sich Sterne und Planeten wie Sonne und Erde bilden konnten.

Zeit im Kosmos

Sterne und Planeten entstehen und entwickeln sich in einer Abfolge von chaotischen Prozessen¹, von denen viele noch nicht verstanden werden. Nicht nur die Schwerkraft wirkt, auch alle andern physikalischen Kräfte. Selbst Chemie und schliesslich Biologie spielen wichtige Rollen. Die Entwicklung von Himmelskörpern ist geradezu ein Musterbeispiel an nichtlinearer Komplexität. In der ersten Stufe verdichten sich in einer Molekülwolke von einigen hundert Lichtjahren Durchmesser einzelne Stellen zu Wolkenkernen. Die wirkende Kraft ist die Gravitation der kleinen Unregelmässigkeit in der Gasdichte, die sich durch ihre eigene Schwerkraft verstärkt. Der Vorgang wird vom Magnetfeld verzögert und dauert gute 10 Millionen Jahre. Erreicht die Dichte ungefähr den Wert eines guten Vakuums in irdischen Laboratorien, bricht das Magnetfeld ein und der Kern kollabiert. Die Gravitation wirkt nun ungehindert etwa hunderttausend Jahre. Weil Wolkenkerne nicht völlig ruhig sind und der Drehimpuls beim Kollaps erhalten bleibt, bildet sich nach dieser Zeit eine rotierende Scheibe, in der die Fliehkraft die Gravitation ausbalanciert.

In diesen Scheiben können sich nun Planeten bilden. Sie haben dafür etwa hunderttausend bis zehn Millionen Jahre Zeit. Die Dauer ist noch nicht genau bekannt und hängt auch von der Grösse des Sterns ab, der sich in dieser Zeit entwickelt. Es gibt mindestens drei Vorgänge, die auf die protoplanetare Scheibe einwirken: Magnetfelder in der Scheibe werden herum gewirbelt und verursachen dadurch zwei Jets senkrecht zur Scheibe. Sie führen mindestens einen Zehntel der Materie wieder in die Wolke zurück. Mit dem Jet fliesst auch ein Teil des Drehimpulses ab, so dass sich das Gas in der Scheibe gegen das Zentrum bewegt. Dort entsteht mit der Zeit ein Protostern, eine Kugel aus heissem Gas, die sich über einen Zeitraum von einer Million Jahren abkühlt. Schliesslich wird die Dichte im Zentrum gross genug, sodass Wasserstoffkerne zu Helium verschmelzen. Dieser Vorgang entfesselt die nuklearen Kräfte, die sehr schnelle Veränderungen in mikroskopischen Dimensionen bewirken. Das Verschmelzen zweier Wasserstoffatome dauert nur 10^{-15} Sekunden. Die neue Energiequelle im Innern verändert den Aufbau der Gaskugel und macht sie zu einem Stern. Der Jungstern entwickelt im Innern seine eigenen Magnetfelder. Sie steigen auf und entladen sich in der Atmosphäre. Diese wird zu einer heissen Korona, die wie bei der Sonne einen Sternwind verursacht. Der Sternwind und die Strahlung der heissen Sternoberfläche lösen mit der Zeit die protoplanetare Scheibe auf. Die Planeten, falls sie sich in der Zwischenzeit bildeten, bleiben zurück und umkreisen den Stern. Ein Sonnensystem ist entstanden und besteht, so lange Reserven für die Wasserstoffverschmelzung im Sterninnern vorhanden sind. Sie reichen bei Sternen wie der Sonne für rund 10 Milliarden Jahre. Das Sonnensystem steht kurz vor der Halbzeit.

Was ist die Zeit?

Angesichts der Zeiträume der kosmischen Entwicklung, in die auch die infinitesimalen Zeiten der Quantenmechanik hineinspielen, stellt sich die Frage, nach dem Wesen und Ursprung dieser Zeit. Nach Immanuel Kant ist die Zeit eine apriorische Anschauungsform, ohne die wir die Wirklichkeit nicht wahrnehmen können. Die Physik hat in ihr im vergangenen Jahrhundert einige überraschende empirische Merkmale gefunden. So ist etwa gemäss Relativitätstheorie die Zeit abhängig vom Bezugssystem und verläuft langsamer, je nach dessen Geschwindigkeit relativ zu uns. Sie kann daher von Menschen in einem gewissen Mass manipuliert werden. Auch ein Gravitationsfeld verändert den Zeitverlauf. Noch verblüffender: Die Zeit hatte anscheinend im Urknall einen Anfang. Das ist seit 40 Jahren konsistent mit allen Beobachtungen des weit entfernten Universums. Mit dem Trick einer imaginären

Zeitkomponente², kann der Anfang im Urknall vermieden werden und führt noch weiter weg von der a priori Anschauung.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts herrschte in der Physik die Meinung vor, die Zeit sei im Grunde umkehrbar. Diese für Nichtphysiker vielleicht weltfremde Ansicht stammt von der erstaunlichen Eigenschaft aller Grundgleichungen der Physik, zeitlich reversibel zu sein. Das bedeutet, dass die Zeit eine negative Richtung annehmen und rückwärts laufen könnte, ohne dass sich ein physikalischer oder mathematischer Widerspruch ergäbe. Der offensichtliche Verlauf der Zeit in der lebensweltlichen Wirklichkeit wäre dann nur sekundär. Die Richtung des Zeitpfeils ergäbe sich aus gewissen Vorgängen, die wahrscheinlicher in die eine Richtung ablaufen als in die andere. So kann zum Beispiel der Wind einen Baum fällen. Es ist aber noch nie passiert, dass der Wind einen gefallen Baum aufgerichtet hat, obwohl dies nach den Grundgleichungen möglich wäre. Der wahrscheinlichere Weg ist jener, bei dem die Entropie zu nimmt, wie dies der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ausdrückt.

In den 1970er Jahren haben Ilya Prigogine³ und andere die Irreversibilität der Zeit betont und sie als eine fundamentale Eigenschaft behauptet entgegen der scheinbaren Reversibilität in den physikalischen Grundgleichungen. Als Begründung wurde unter anderem die Quantenmechanik angeführt, gemäss der die Zeit durch den Beobachtungsvorgang irreversibel wird. Die Wirklichkeit entsteht im Beobachtungsakt, und der Übergang von Nichtwissen zu Wissen ist irreversibel. Man könnte auch umgekehrt sagen, dass die Quantenwelt nur durch einen irreversiblen Vorgang wirklich wird. Dies manifestiert sich in der 1964 entdeckten Verletzung der CP-Invarianz im Zerfall von K-Mesonen, in dem die Zeitumkehr nicht möglich ist und damit die Zeitrichtung quantenmechanisch festgelegt wird⁴.

Hier möchte ich den Blickwinkel noch etwas verschieben von jenem der 1970er Jahre. Damals wurde die Zeit wie noch heute in der Laborphysik als unendliches Kontinuum verstanden und als Selbstverständlichkeit vorausgesetzt. In einem Universum mit einem Anfang und in einem Universum, in dem alles entsteht und wieder zerfällt, ist die Zeit nicht grenzenlos. Nicht nur unsere eigene Lebenszeit ist beschränkt, auch unsere Spezies der *Homines sapientes* könnte sehr wohl einmal aussterben. Sonne, Erde, Sterne, Galaxien und vielleicht das ganze Universum werden zerfallen. In der Empirie der Zeit dürfen wir das Entstehen und Zerfallen nicht ausblenden. Zeit ohne Anfang und Ende gibt es nicht.

Der Ursprung der Zeit

Es gibt kein Naturgesetz über das Entstehen oder das Vorhandensein von Zeit. Ohne die Zeit gäbe es das Universum nicht. Das Ticken der Uhr ist eine apriorische Eigenschaft der kosmischen Entwicklung.

Ist jede Sekunde eine Schöpfung aus dem Nichts? Mit dieser Frage überschreite ich nun den Rahmen der Naturwissenschaft. Die Naturwissenschaft sucht nach Ursachen, die durch Gesetzmässigkeit oder Zufall der beobachteten und gemessenen Wirkung zu Grunde liegen. Die Abfolge von Ursache und Wirkung, wie auch der zufällige Wurf eines Würfels verlangen nach einem Vorher und Nachher. Kausalität wie Zufall nehmen eine kontinuierlich fliessende Zeit an. Die Zeit wird in der Naturwissenschaft vorausgesetzt, und über die Voraussetzungen einer Wissenschaft kann man im Rahmen dieser Wissenschaft nicht diskutieren.

Tritt uns im Ursprung der kreativen und zerstörerischen Zeit die göttliche Schaffenskraft entgegen? Es steht nichts im Weg, jede neue Sekunde als eine Neuschöpfung zu deuten. Es wäre falsch dies deswegen zu tun, nur weil das Woher der Zeit ausserhalb des Rahmens der

Naturwissenschaft liegt. Nebenbei bemerkt: Ein grosser Teil unserer Lebenswirklichkeit liegt ausserhalb dieses Rahmens. Der Mangel an kausaler Erklärung ist kein eindeutiger Hinweis auf Gott. Selbst der Anfang der Zeit im Urknall zwingt nicht, den Begriff Schöpfung zu verwenden. Dass etwas entsteht und nicht nichts, ist kein zwingender Hinweis auf einen Schöpfer.

Ist Zeit = Schöpfung?

Woran erkennt man Schöpfung? Gewiss nicht an einem Plan! Die Sterne sind nicht designed, und sie entstehen doch. Sie werden aus einem Chaos von Turbulenz durch ein Wirrwarr von Vorgängen geboren. Ihre Entstehung ist nicht voraussagbar und doch landen sie auf der Hauptreihe der Normalsterne.

Hans Weder bemerkt⁵, dass Schöpfung uns dann entgegentritt, wenn wir staunend feststellen, dass es etwas gibt, das wir nicht selbst bewirken können und doch unsere Existenz ermöglicht. In dieser Erfahrung wird bewusst, dass wir uns letztlich nicht selbst versorgen können und uns deswegen nicht zu ängstigen brauchen. Das Staunen ist eine notwendige Bedingung. Es impliziert, dass Schöpfungserfahrung nicht objektiv sein kann. Der oder die Erfahrende ist nicht beliebig austauschbar. Es gehört eine sich ihrer selbst bewusste Person zu dieser Art der Wahrnehmung, die teilnimmt und im Staunen mitschwingt. Noch mehr, dieser Mensch muss die teilnehmende Wahrnehmung wollen. Er kann achtlos am Gegenstand oder Vorgang vorbei gehen, ohne ihn als Schöpfung zu erkennen. Und doch sind solche teilnehmende Wahrnehmungen nicht beliebig oder rein subjektiv. So wie jemand in einem Kunstmuseum von einem Bild angesprochen werden kann und andere Menschen nicht, ist die Erfahrung von Schöpfung ein allgemeinemenschliches aber nicht zwingendes Mitschwingen auf einen objektiv existierenden äusseren Reiz.

Die Menschheitsgeschichte umfasst nur einen winzigen Teil der Zeit, die vor 13,7 Milliarden Jahren begann und noch Milliarden von Jahre weiter geht, auch wenn es schon lange keinen Homo sapiens mehr geben wird. In unserer Galaxie, der Milchstrasse, entstehen und vergehen rund 10 Sterne pro Jahr. Eine Unzahl von Planeten kreisen um ihre Zentralsterne, die allermeisten wohl für immer unbewohnt. Das Zentrum der Milchstrasse liegt fünfundzwanzigtausend Lichtjahre in Richtung Sagitarius. Andere Galaxien mit Hunderten von Milliarden Sternen entstehen und werden vergehen. Wir sind Teil dieser Entwicklung an einem scheinbar unbedeutenden Ort im Kosmos und zu einer beliebigen Zeit. In diese Entwicklung ist unsere Spezies ungefragt hinein gestellt wie der einzelne Mensch in die Fähnrisse der irdischen Geschichte. Zwar nehmen wir teil, schwimmen aber zum grössten Teil unbedeutend mit.

Es kann vorkommen, dass wir an einem bestimmten Punkt im Leben eine Sekunde nicht als selbstverständliche Fortsetzung von 425 Billiarden früheren Sekunden erleben, sondern als gnädig gewährte Zeit. Dann erfahren wir die Zeit als Schöpfung. Es fällt uns dann vielleicht wie Schuppen vor den Augen, dass die Erde und die Menschheit nicht hilflos in die Zeit geworfen sind, sondern dem Universum eine gewisse Zeit zugestanden wird. Wir nehmen angesichts unserer beschränkten Lebenszeit allenfalls auch wahr, dass uns persönlich Zeit geschenkt ist. Uns wie auch dem Universum sind Zeit gegeben. Darin sind wir dem Universum gleichgestellt.

¹ Steven W. Stahlner & Francesco Palla, The Formation of Stars, Wiley-VCH: Weinheim

² Stephen W. Hawking, Eine kurze Geschichte der Zeit, Rowohlt Reinbek 1991

³ Ilya Prigogine, Vom Sein zum Werden, Piper: München, Zürich 1992

⁴ Allgemein verständlich dargestellt in Y. Karyotakis & G. Hamel, A Violation of CP Symmetry in B Meson Decays, Europhysics News, 89, 2002

⁵ Hans Weder, Kosmologie und Kreativität, Evangelische Verlagsanstalt: Leipzig 1999, S. 68