

Zeitschrift: Werdenberger Jahrbuch : Beiträge zu Geschichte und Kultur der Gemeinden Wartau, Sevelen, Buchs, Grabs, Gams und Sennwald
Herausgeber: Historischer Verein der Region Werdenberg
Band: 13 (2000)

Artikel: Die kosmischen Dimensionen der Zeit : vom Anfang und vom Ende der "Unendlichkeit"
Autor: Casparis, Reto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-893015>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die kosmischen Dimensionen der Zeit

Vom Anfang und vom Ende der «Unendlichkeit»

Reto Casparis, Buchs

Wir leben in einer vierdimensionalen Welt. So wie es die drei Raumdimensionen gibt, die Dimension des Links und Rechts, des Vorne und Hinten und die Dimension des Unten und Oben, gibt es die Dimension des Vorher und Nachher – die Dimension Zeit. Allerdings gibt es einen grundlegenden Unterschied zwischen den drei Raumdimensionen und der Zeit: Im Raum können wir uns in jeder Richtung frei bewegen und wieder zum Ausgangspunkt zurückkehren, wir können auch einfach stehenbleiben. In der Zeit ist das nicht möglich. Die Zeit hat eine vorgegebene Richtung, kein Geschehen kann sich ihr entziehen. Weshalb ist das so? Einige spekulieren, der Pfeil der Zeit habe mit der Expansion des Alls zu tun. Letztlich aber gibt es keine befriedigende Erklärung. Erklären heisst, auf etwas Grundlegenderes zurückführen. Offenbar gibt es nichts Grundlegenderes als die Zeit.

Was ist Zeit?

Die Zeit hinterlässt ihre Spur in Veränderungen, in der Änderung der Position von Körpern durch Bewegung beispielsweise. Dadurch wird sie fassbar. Mittels regelmässig sich wiederholender Vorgänge wie der Bewegung der Erde um die Sonne, der Schwingung eines Pendels oder der Schwingung von Atomen kann man die Zeit messen. Nebenbei bemerkt: Für die ersten zwei Drittel der Lebensspanne unseres Universums hat der Begriff «Jahr» keinen Sinn, weil es die sich um die Sonne bewegende Erde noch gar nicht gab.

Ohne Zeit gibt es keine Bewegung. Die Bewegung setzt die Existenz von Körpern oder, etwas allgemeiner gesagt, von Materie und/oder Strahlung voraus. Gleiches gilt für den Raum. Er bekommt physikalisch erst durch die Anwesenheit von Materie Sinn. Raum und Zeit werden erst durch Materie.

Nach der Einsteinschen Relativitätstheorie kommen Raum und Zeit keine absoluten Eigenschaften zu, sie sind nicht einfach

Geschehen	Zeit	Auf ein Jahr projiziert
Urknall	0	1. Januar, 0.00 Uhr
Es bilden sich Atomkerne	Minuten nach dem Urknall	1. Januar, 0.00 Uhr
Atome entstehen, das All wird durchsichtig	300 000 Jahre nach dem Urknall	1. Januar, 0.10 Uhr
Erste Galaxien	1 bis 2 Milliarden Jahre nach dem Urknall	Ende Januar
Erste Sterngeneration	3 Milliarden Jahre nach dem Urknall	März
Unsere Milchstrasse bildet sich	vor 12 Milliarden Jahren	März
Unser Sonnensystem in Form einer Gaswolke	vor 4,8 Milliarden Jahren	Ende August
Die Planeten entstehen	vor 4,6 Milliarden Jahren	5 Tage später
Erste Einzeller auf der Erde	vor 3,2 Milliarden Jahren	Anfang Oktober
Dinosaurier	vor 200 Millionen Jahren	27. Dezember
Erste Säugetiere	vor 50 Millionen Jahren	später 30. Dezember
Höhlenmenschen	vor 40 000 Jahren	31. Dezember, 23.58 Uhr

Tabelle 1: Um die riesigen Zeiträume etwas fassbarer zu machen, kann man das Geschehen seit dem Urknall auf ein Jahr projizieren.

als unveränderlicher Hintergrund der Natur da. Die Strukturen von Raum und Zeit werden wesentlich durch die vorhandene Masse und ihre Verteilung bestimmt. Ob die Winkelsumme im Dreieck exakt 180 Grad beträgt und ob das Verhältnis aus Kreisumfang und Durchmesser wirklich der Zahl $\pi = 3,141596...$ entspricht, wie wir das in der Schule im (Euklidischen) Geometrieunterricht lernen, hängt von der gesamten Masse im Universum ab. Auch die Zeit wird durch die Materie beeinflusst: Uhren laufen in der Nähe einer grossen Masse, zum Beispiel an der Erdoberfläche, messbar langsamer als weiter davon entfernt.

Die Zeit entstand zusammen mit dem All beim Urknall. Das expandierende All erschafft sich seinen Raum fortwährend. Es macht keinen Sinn, über die Zeit vor dem Urknall oder über den Raum ausserhalb des Universums zu spekulieren. Die Frage danach ist so wenig sinnvoll wie die Frage: Was liegt nördlich vom Nordpol?

Die Entstehung des Alls

Unser Universum ist vor ungefähr 15 Milliarden Jahren in einer Art explosiver Geburt, Urknall (Big Bang) genannt, aus einem höchst konzentrierten Zustand von Energie entstanden. Seither dehnt sich das All unablässig aus. In den vergangenen



Abb 1.: Galaxie NGC 2997. Diese Milchstrasse erinnert mit ihren Spiralarmen an ein Feuerrad. Aus Time Life 1989.

Jahrzehnten ist die Theorie vom expandierenden Universum mit Beobachtungen und Berechnungen derart solide untermauert worden, dass sich heute kaum noch Astronomen finden, die sie grundsätzlich in Frage stellen.

Unser Universum besteht nicht seit Ewigkeit, es ist wahrscheinlich nicht unendlich gross, und unsere Welt, die Erde, wird nicht unendlich lange bestehen. Wo aber liegen die Beweise für die Endlichkeit von Raum und Zeit und für die Expansion? Was war

Abb. 2: Der Krebs-Nebel ist der Überrest einer im Jahre 1054 n. Chr. beobachteten Supernova; er befindet sich etwa 5000 Lichtjahre von der Erde entfernt und explodierte folglich etwa 4000 v. Chr. Aus Kippenhahn 1984.



vor dem Urknall, und was liegt ausserhalb des Universums? Ich werde auf diese Fragen eingehen, zuerst möchte ich aber kurz die Entwicklung der kosmischen Strukturen, soweit sie wissenschaftlich unbestritten ist, nachzeichnen.

Es soll nicht verschwiegen werden, dass das Geschehen der ersten Sekunden nach dem Urknall physikalisch grosse Rätsel aufgibt und noch weit davon entfernt ist, verstanden zu sein. Obwohl diese Zeitspanne im Vergleich zum Alter des Universums verschwindend klein ist, hat sie das, was man heute im All beobachtet, entscheidend geprägt, und in der allerersten Sekunde sind auch schon die Weichen für das künftige Schicksal des Alls gestellt worden.

Die Entstehung der kosmischen Strukturen

Der explodierende Feuerball kühlte sich ab, so wie jedes sich ausdehnende Gas kälter wird. Nach einer Minute etwa war die Temperatur unter eine Milliarde Grad gefallen. Es begannen sich Atomkerne, vor allem Wasserstoff und Helium, zu bilden. Nach rund 300 000 Jahren war mit etwa 3000 Grad die Temperatur tief genug, dass die Kerne Elektronen an sich binden und Atome bilden konnten. Dies war der Moment, als das All durchsichtig wurde. Hier fühlt man sich an das Wort aus der Genesis erinnert: «Es werde Licht. Und es ward Licht.»

Keime für die Bildung von Galaxien waren kleinste Dichteunterschiede in der auseinanderfliegenden Materie. Im sich fortlaufend verdünnenden und abkühlenden Gas schieden sich Bereiche erhöhter Dichte ab, zogen sich aufgrund der Massenanziehung zusammen und bildeten nach etwa einer Milliarde Jahren die ersten Galaxien. Bald auch zündeten darin die ersten Sterne (Abb. 1). Im heissen Sterninnern verschmelzen Wasserstoffkerne zu Heliumkernen, in einer späteren Phase diese zu Kohlenstoff und Sauerstoff. Massereiche Sterne brennen relativ kurze Zeit. Wenn in ihnen das nukleare Feuer erlischt, schleudern sie als Supernova in einer gewaltigen Explosion einen Grossteil ihrer Materie ins All (Abb. 2). Irgendwann wird die erkaltende Gaswolke wieder Teil einer neu entstehenden Galaxie mit neuen Sterngenerationen. Etwa drei Milliarden Jahre nach dem Urknall formierte sich eine solche Gaswolke zu unserer Muttergalaxie, der Milchstrasse, in der nach weiteren sie-



Abb. 3: Der Andromeda-Nebel ist eine Galaxie, welche etwa zwei Millionen Lichtjahre von uns entfernt ist. Was als nebliger Fleck erscheint, sind Millionen von Sternen. Die einzeln erkennbaren Sterne auf dem Bild gehören zu unserer eigenen Milchstrasse. Vom Andromeda-Nebel aus betrachtet, würde unsere Milchstrasse einen ähnlichen Anblick bieten. Aus Kippenhahn 1984.

ben Milliarden Jahren, das heisst vor fünf Milliarden Jahren, unser Sonnensystem entstand (Abb. 3).

Der nächtliche Himmel und das Alter des Universums

Nehmen wir an, das Weltall wäre unendlich gross und homogen, das heisst, gleichmässig mit Galaxien und Sternen bestückt, und es bestünde schon seit unendlich langer Zeit. Wohin unser Blick auch an den Himmel gerichtet wäre, er würde auf einen Stern treffen. Jeder Punkt am Himmel müsste demzufolge etwa gleich hell erscheinen wie die Sonnenoberfläche. Dass es nachts dunkel wird, ist auf das endliche Alter des Universums zurückzuführen. Wir können – auch mit dem besten Fernrohr – nur Sterne sehen, deren Licht nicht mehr als 15 Milliarden Jahre gebraucht hat, um zu uns zu gelangen. Die Distanz, die das Licht in einem Jahr zurücklegt, nennt man ein Lichtjahr. Das Alter des Universums setzt uns in 15 Milliarden Lichtjahren einen Horizont, hinter den wir nicht blicken können. Woher weiss man denn,

dass das Universum 15 Milliarden Jahre alt ist? Drei verschiedene Methoden liefern unabhängig voneinander dieses Resultat. Eine davon ist die Altersbestimmung aus der Fluchtbewegung.

Das Licht heisser Gasatome setzt sich aus vielen einzelnen Wellenlängen zusammen, die für eine Atomsorte charakteristisch sind. Wenn man das Licht, etwa mit einem Prisma, in die einzelnen Wellenlängen zerlegt, kann man die Elementzusammensetzung des leuchtenden Gases herausfinden. Nun stellt man fest, dass die Wellenlängen eines leuchtenden Gases, das uns von fernen Galaxien erreicht, systematisch grösser sind als die, welche man von der betreffenden Gassorte auf der Erde misst. Die Farben sind alle zu Rot hin verschoben. Ursache dafür ist der Dopplereffekt. Man kann ihn im täglichen Leben an Schallwellen beobachten. Die Tonlage eines Fahrzeuggeräusches sinkt, wenn das Fahrzeug an uns vorbeigefahren ist. Der Dopplereffekt tritt bei allen Wellen auf, so auch bei Licht, wenn sich Quelle und Beobachter gegeneinander bewegen. Aus der Frequenz- respektive der Wellenlängenverschiebung kann man auf die Geschwindigkeit schliessen, die Quelle und Beobachter zueinander aufweisen. Die systematische Untersuchung der Rotverschiebung zeigt, dass Himmelskörper sich umso schneller von der Erde wegbewegen – oder wir von ihnen –, je weiter entfernt sie liegen. Das ist eine Gesetzmässigkeit, die man bei einer Explosion erwartet. Fliegen zum Zeitpunkt null von einer Stelle aus Trümmer mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten

nach allen Seiten weg, so wird zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt die Entfernung von zwei Trümmern umso grösser sein, je schneller sie sich voneinander entfernen, je grösser also ihre Relativgeschwindigkeit. Indem man die Entfernung und die Relativgeschwindigkeit zweier Trümmerstücke misst, kann man leicht berechnen, zu welchem Zeitpunkt der Abstand der Trümmer voneinander null war, wann also die Explosion stattgefunden hat.

Astronomen – die Historiker des Weltalls

Astronomen untersuchen wie Geologen oder Paläontologen die Vergangenheit. Im Gegensatz zu diesen sind die Astronomen aber nicht nur auf Spuren angewiesen. Indem sie ins All schauen, blicken sie in die Vergangenheit zurück. Wenn sie heute mit den besten Teleskopen das Licht einer zehn Milliarden Lichtjahre entfernten Galaxie auffangen, sehen sie diese so, wie sie ausgesehen hat, als sich das Licht vor zehn Milliarden Jahren auf den Weg gemacht hat. Galaxien in unserer Nähe sehen deutlich anders aus als entferntere, das heisst ältere. Mit dem Fernrohr verfolgen die Astronomen die Entstehung der kosmischen Strukturen direkt. Dabei können sie beispielsweise die künftige Entwicklung unserer Sonne an ähnlichen Sternen, die früher existiert haben, mitverfolgen und so ihre Modelle überprüfen.

Die grösste mögliche Geschwindigkeit, mit der Materie beim Urknall weggeschleudert worden sein kann, ist die Lichtgeschwindigkeit. Die Ausdehnung des Alls

Abb. 4: Tod eines Sterns. Der ringförmige Nebel (M57) ist der Überrest eines sonnenähnlichen Sterns. Aus Collins 1989.



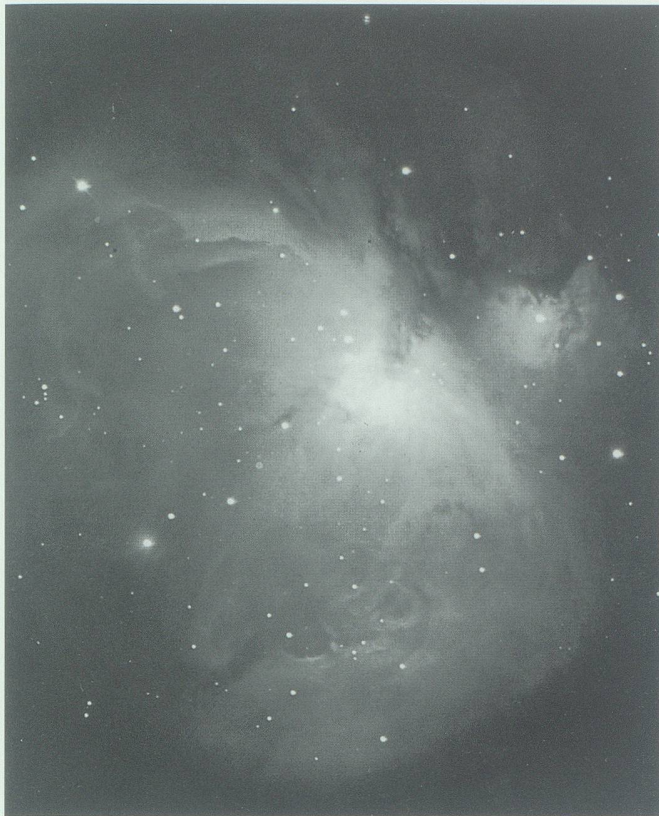


Abb. 5: Der leuchtende Gasnebel im Orion liegt in einem Gebiet von etwa 15 Lichtjahren Durchmesser, 1600 Lichtjahre von der Erde entfernt. Er ist allerdings immer noch dünner als das grösste auf der Erde erstellbare Vakuum. Das Gas wird von blauen Sternen zum Leuchten angeregt. Im Orion-Nebel sind Sterne, die erst vor einer Million Jahren entstanden sind; es gibt aber auch Verdichtungen, die darauf schliessen lassen, dass dort immer noch Sterne entstehen. Aus Kippenhahn 1984.

beträgt daher höchstens etwa 15 Milliarden Lichtjahre. Das Licht vom Rande der Welt ist auch das Licht vom Beginn der Zeit.

Schöpfung und Entwicklung

Seit dem Urknall sind Generationen von Sternen vergangen. Wir gehören einer dieser Generationen an und tragen die vorangegangenen in und um uns. Die Wasserstoffkerne in unserem Körper beispielsweise sind Minuten nach dem Urknall entstanden. Elemente wie Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff über Kalium, Kalzium bis hin zu Eisen und Nickel sind im Inneren von sonnenähnlichen Sternen aus Helium gebrannt worden. In mehreren Wechselbädern von heissem Sterninneren und kaltem Weltall, in welche die Materie am Lebensende eines Sternes gestossen wird und wo sich einfache Moleküle bilden können, haben sich diese Elemente und Verbindungen in den Konzentrationen gebildet, wie sie für die Entstehung des Lebens notwendig waren.

Zu denken, am Himmel passieren Änderungen nur in kosmischen Zeiträumen, ist falsch. Selbst im Vergleich mit der Länge eines Menschenlebens ist das Universum nicht statisch. Ein Stern mag zwar Milliarden von Jahren gleichmässig hell leuchten,

er kann aber in Minutenschnelle in einen neuen Zustand übergehen. Die Elemente, die im Periodensystem oberhalb von Nickel stehen, also Silber, Barium, Gold, Blei und Uran, aber auch Elemente wie Zink, Brom und Jod, die in geringen Mengen im Körper vorkommen, verdanken ihre Existenz den besonderen Verhältnissen während der kurzen Dauer einer Supernovaexplosion.

Die Schöpfung ist nicht abgeschlossen. Das sehen die Astronomen beim geschärften Blick an das Firmament, das gar nicht so «firm» ('sicher, unveränderlich') ist. Ein Beispiel dafür ist das Schicksal unserer Sonne. Sie wird noch etwa fünf Milliarden Jahre mit unveränderter Leuchtkraft strahlen. Dann wird der Wasserstoff im Inneren verbraucht sein, und die Verbrennung von Helium zu Kohlenstoff und Sauerstoff wird einsetzen. Die Auswirkungen auf das Sonnensystem werden dramatisch sein. Die äussere Hülle der Sonne wird sich abkühlen, ihre Farbe wird von Weiss über Gelb zu Rot wechseln. Die Sonne wird sich über die Bahn der Erde hinaus ausdehnen. Die Planeten Merkur, Venus und Erde werden sich im Sonneninneren zu Gas verflüchtigen. Wenn etwas später die Sonne einen grossen Teil ihrer Masse ins Weltall

schleudern wird, wird auch das Ende der äusseren Planeten kommen (vgl. Abb. 4). Von der Sonne wird ein kleiner Kern zurückbleiben und langsam erkalten. Die Materie unseres Sonnensystems wird zum galaktischen Gas zurückverwandelt, aus dem es sich vor 4,6 Milliarden Jahren gebildet hat. Aus diesen Nebeln werden sich neue Sterne bilden.

Das Schicksal des Alls ist weniger gewiss. Es hängt davon ab, wieviel Schwung in der Fluchtbewegung steckt. Ist er stärker als die Anziehung der Gravitationskräfte, wird das All ewig auseinanderstreben, ist er jedoch schwächer, wird die Expansion eines Tages zum Erliegen kommen und sich in eine Kontraktionsbewegung verkehren. Dann könnte am Ende wieder ein Zustand höchster Dichte und Temperatur erreicht werden, der «Big Crunch». Das wäre das Ende der Zeit. Die Physik ist noch nicht in der Lage zu sagen, welches Szenarium ablaufen wird.

Der Mensch auf der Erde im All

Viele Menschen tun sich mit der Einsicht schwer, dass die Zeit einen Anfang hat und möglicherweise ein Ende haben wird. Mythisches Denken, Theologie und spekulative Philosophien der Vergangenheit kamen auf anderen Wegen zu ähnlichen Aussagen wie die Physik. Der Kirchenvater Augustinus, der viel über die Zeit nachgedacht hat, fasst seine Überlegungen mit den Worten zusammen: «Hieraus ergibt sich klar, dass die Welt nicht in der Zeit, sondern mit ihr zusammen erschaffen worden ist.» Thomas von Aquin sagt es so: «Es ist gewiss, dass nichts Gott gleichkommen kann. Wenn die Welt immer so gewesen wäre, käme sie Gott gleich. Also ist es gewiss, dass die Welt nicht immer so gewesen ist.»

Der Mensch ist ein Nichts im Raum und in der Zeit, aber ein Riese im Geist, dieses zu erkennen.

Literatur

Collins 1989: CAROLYN COLLINS PETERSEN/ JOHN C. BRANDT, *Hubble Vision*. Cambridge 1998.

PAUL DAVIES, *Die Unsterblichkeit der Zeit*. Bern 1998.

HORST HILLER, *Die Evolution des Universums*. Frankfurt a. M. 1989.

Kippenhahn 1984: RUDOLF KIPPENHAHN, *100 Milliarden Sonnen*. Zürich 1984.

FRIEDRICH W. SEEMANN, *Was ist Zeit?* Berlin 1997.

JOSEPH SILK, *Der Urknall*. Basel 1990.

Time Life 1989: Time Life, *Reise durch das Universum*, Band *Galaxien*. Amsterdam 1989.