



## Entstehung des Universums

**Faszination des Ursprungs:**  
Die drei ersten Minuten vor  
rund 14 Milliarden Jahren  
waren bestimmend für unser  
Universum. Experimente der  
Weltraumwissenschaft er-  
möglichen uns Einblicke in  
die Tiefen von Raum und  
Zeit.

# Editorial

Die vorliegende erste Nummer des SPATIUM ist den ersten drei Minuten unseres Universums gewidmet. Sie stellt aber auch den Auftakt für eine lockere Folge von Mitteilungen des Vereins Pro ISSI dar. Dieser Verein hat sich die Förderung der Raumfahrt in der Schweiz zur Aufgabe gemacht. Seine Mitglieder sind Einzelpersonen und Firmen, die sich für die Erforschung des Sonnensystems, der Milchstrasse und des gesamten Universums interessieren. Sein Mitteilungsorgan ist das vorliegende SPATIUM, dessen Name sich vom lateinischen Raum ableitet.

Herrn Professor Johannes Geiss, dem Gründer unseres Vereins und geschäftsführenden Direktor des International Space Science Instituts, sind wir dankbar, dass er mit dieser Arbeit nicht nur den Anfang macht, sondern gleich auch zeigt, was wir wollen: Forschungsergebnisse in diesen Wissensbereichen so vermitteln, dass auch Nichtfachleute berührt werden von der Faszination, die der Himmel ausübt, seitdem es Menschen gibt, die sich Fragen stellen zu ihrem Woher und Wohin.

**Hansjörg Schlaepfer**  
Bern, im März 1998

## Inhalt

Die ersten Minuten und das  
weitere Schicksal des  
Universums 3

## Impressum

SPATIUM  
Publikationsorgan des  
Vereins Pro ISSI  
Erscheint ein- bis zweimal jährlich



Verein Pro ISSI  
Hallerstrasse 6, 3012 Bern  
Tel. 031 631 48 96  
Fax 031 631 48 97

**Präsident:**

Prof. Hermann Debrunner,  
Universität Bern

**Herausgeber / Quästor:**

Dr. Hansjörg Schlaepfer, Contraves  
Space, Zürich

**Redaktion dieses Beitrags:**

Peter Abgottspon, Thun

**Graphik:**

Gian-Reto Roth, Contraves Space,  
Zürich

**Druck:**

Drucklade AG, 8008 Zürich

# Die ersten Minuten und das weitere Schicksal des Universums

Johannes Geiss, *International Space Science Institute, Bern*  
Vortrag für den Verein Pro ISSI am 30. 10. 1997

## Der Weg zur naturwissenschaftlichen Kosmologie

Die Kosmologie im Sinne einer naturwissenschaftlichen Gesamt-sicht des Universums ist ein Produkt des 20. Jahrhunderts. Dies gilt sowohl für die relevanten astronomischen Beobachtungen und physikalischen Experimente, wie auch für die mathematische Theorie des Kosmos, denn erst seit 1915 haben wir mit Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie die Möglichkeit einer mathematischen Formulierung für den Raum, die Zeit, das Licht und die Materie des Kosmos.

Die Kosmologie ist die Wissenschaft vom Universum als Ganzem. Man muss daher aus der Fülle der Beobachtungen und Messungen diejenigen herausfinden, welche für das Verständnis des gesamten Kosmos relevant sind. Für die moderne Kosmologie sind drei Beobachtungsbereiche wesentlich:

- Die Expansion des Universums
- Charakter und Zusammensetzung der Materie, die beim Urknall (Big Bang) entstanden ist.
- Die Restwärme im heutigen Universum

Bis 1960 standen für die Kosmologie ausschliesslich Beobachtungen von der Erde aus zur Verfügung. Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben jedoch Beobachtungen vom Welt-



**Abbildung 1: Das alte Weltbild**

Das Weltbild des Aristoteles war geozentrisch. Demzufolge kreisen der Mond, die Sonne und die Planeten um die Erde. Bis ins 18. Jahrhundert hinein galt der Saturn als der entfernteste Planet. Im Jahre 1781 wurde Uranus und später noch zwei Grossplaneten, Neptun und Pluto, entdeckt. Im Weltbild des klassischen Altertums lagen die Sphären der Fixsterne jenseits des Saturn. Heute wissen wir, dass alle Fixsterne, auch die nächsten unter ihnen, mindestens 20000 Mal weiter von der Erde entfernt sind als der Saturn.

raum aus an Bedeutung gewonnen. Aus der kosmologischen Forschung sind heute das Hubble Space Telescope, das einen tiefen Blick in das Universum erlaubt, der NASA-Satellit COBE, mit dem die Restwärme im Universum genau bestimmt wird, und der europäische Satellit HIPPARCOS, der das System der kosmischen Distanzen auf eine sichere Basis gestellt hat, nicht mehr wegzudenken. Auch bei den Beobachtungen und Messungen, die

uns Aufschluss über Art und die Zusammensetzung der Materie geben, wie sie im Urknall entstanden ist, stehen Ergebnisse aus dem Welt-raum gleichrangig neben Beobachtungen vom Boden aus. Es seien hier etwa die Beobachtungen mit dem Hubble Telescope, Ergebnisse der Apollo-Landungen auf dem Mond, oder Resultate der europäisch-amerikanischen Weltraum-sonde Ulysses erwähnt.



Obwohl ein Produkt des 20. Jahrhunderts, steht die Kosmologie auf dem Fundament der allgemeinen Naturgesetze, welche die Forscher über Jahrhunderte bis in die neueste Zeit hinein mit Hilfe von Naturbeobachtungen, Experimenten im Labor und theoretischen Ansätzen herausgefunden haben.

### Vom Geozentrischen zum Heliozentrischen System

Bis ins 17. Jahrhundert hinein prägte das geozentrische System, bei dem die Erde im Mittelpunkt des Universums steht, das menschliche Denken (**Abbildung 1**). Es entsprach der philosophisch-religiösen Einstellung, dass der Mensch und seine Lebenswelt im Zentrum des Universums angesiedelt sei. Dieses Weltbild wurde von Aristoteles und anderen Philosophen des klassischen Altertums auf der Grundlage von Beobachtungen des Himmels mit blossen Auge geschaffen.

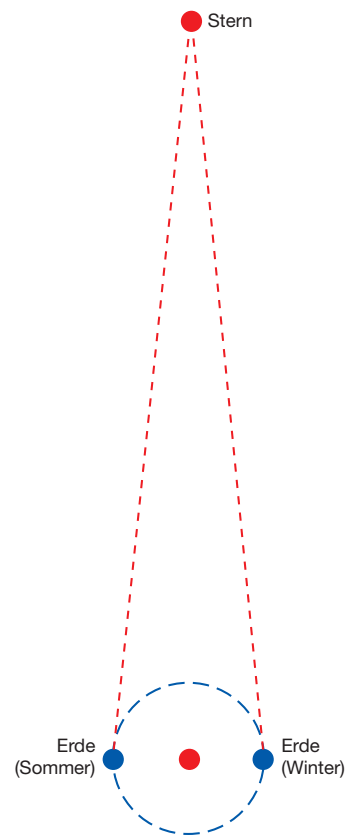
Schon Aristarch von Samos und dann später, im 15. Jahrhundert, Kopernikus hatten ein heliozentrisches System eingeführt. Schliesslich waren es aber die Beobachtungen Galileis mit dem von Holländern neu erfundenen Fernrohr und Galileis physikalischen Argumente, welche eine breite Öffentlichkeit und schliesslich auch die römische Kirche davon überzeugten, dass die Planeten – einschliesslich der Erde – um die Sonne kreisen. Diese revolutionäre Änderung des Weltbildes steht am Anfang der erfolgreichen naturwissenschaftlichen Methodik, die für das Abendland charakteristisch ist.

## Das expandierende Universum

### Entfernungsmessung im Kosmos

Der Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen System hatte aber noch eine andere, ebenso wichtige Auswirkung: zum ersten Mal wurde es möglich, Distanzen zu Fixsternen zu bestimmen. Im heliozentrischen System bewegt sich die Erde, und dies ermöglicht die Betrachtung des Sternenhimmels von verschiedenen Positionen aus und damit eine Bestimmung der Parallaxen (griechisch: Abweichungen) von Fixsternen (**Abbildung 2**). Die ersten Messungen gelangen im 18. Jahrhundert, und es zeigte sich, dass selbst die nächsten Fixsterne in einer Entfernung von einigen Lichtjahren liegen: Sie sind ungefähr fünftausendmal weiter entfernt von der Erde als Pluto, der fernste Planet des Sonnensystems. So konnte man erstmalig ahnen, wie riesig gross das Universum ist, sogar im Vergleich zum gesamten Sonnensystem. Diese Erkenntnis bewirkte eine ebenso fundamentale Änderung des Weltbildes wie der Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen System.

Im Vergleich zu kosmischen Dimensionen ist die Parallaxen-Methode auf ein kleines, begrenztes Umfeld der Sonne beschränkt. Wie kommt man aber weiter? Wie be-



**Abbildung 2: Die Entfernungsmessung mit der Parallaxen-Methode**

Von 2 Punkten der Erdbahn aus gesehen verschiebt sich die scheinbare Position eines näher liegenden Sterns vor dem Hintergrund sehr weit entfernter Sterne. Aus der Änderung der Richtung (Parallaxe), in welcher der Stern gesehen wird, lässt sich dessen Entfernung genau bestimmen. Obwohl der Durchmesser der Erdbahn 300 Mio Kilometer beträgt, misst man als Winkelländerung (Parallaxe) selbst zu den nächsten Sternen nur einige Bogensekunden. Daraus folgt unter Anwendung einfacher geometrischer Gesetze, dass die entsprechenden Entfernungen ungefähr 100 000 Mal grösser sind als der Erdbahndurchmesser, das heisst die nächsten Fixsterne finden wir in einer Entfernung von einigen Lichtjahren. Der Satellit Hipparcos der europäischen Weltraumbehörde ESA hat mit dieser Methode die Entfernung von 20 000 Fixsternen mit einer Genauigkeit von besser als 10% bestimmt. Dies ist erstaunlich, wenn man bedenkt, dass man mit blossen Auge nur etwa 5000 Sterne erkennen kann.

Die gleiche Parallaxen-Methode wird auch bei der Erdvermessung verwendet. Es sei hier ein einfaches Beispiel genannt: Wenn zwei Personen auf der grossen Schanze in Bern im Abstand von 200 Metern stehen, sehen sie die Sphinx auf dem Jungfrauoch in verschiedenen Richtungen. Der Unterschied beträgt 11 Bogenminuten. Daraus ergibt die einfache Rechnung eine Distanz zur Sphinx von etwa 60 Kilometern.

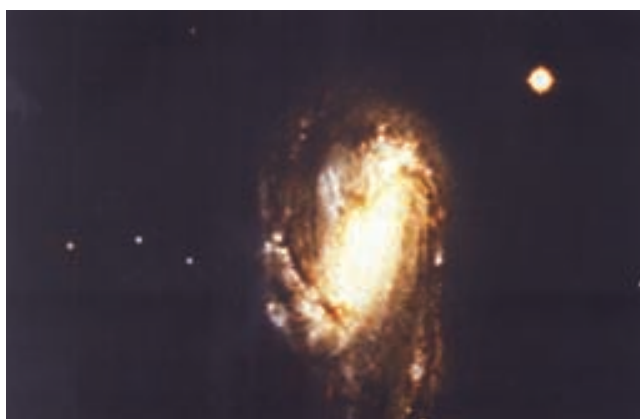
stimmt man die Distanzen zu den entferntesten Objekten im Kosmos? Die Antwort ist im Prinzip einfach: Die Helligkeit einer jeden Lichtquelle nimmt mit dem Quadrat ihrer Entfernung ab. Wenn die absolute Helligkeit einer Quelle bekannt ist, kann man daher deren Entfernung bestimmen. Diese «Methode der Standardkerzen» funktioniert sowohl auf der Erde als auch im Kosmos. Die Astronomen haben verschiedene solcher Standardkerzen gefunden. Besonders wichtig sind die Cepheiden, das sind Sterne variabler Leuchtkraft. Aus der Frequenz ihrer Lichtschwankungen kann ihre absolute Helligkeit abgelesen werden. Für grössere Distanzen sind Supernova-Explosionen eines bestimmten Typs verwendbar, und für die grössten Entfernungen nimmt man das Licht ganzer Galaxien oder deren Durchmesser. Auf diese Weise wird die kosmische Distanzleiter Stufe um Stufe aufgebaut. Das Ganze klingt heute sehr einfach. Es handelt sich aber um eine hochentwickelte Methodik, die nach vielen Jahren der Grundlagenforschung zu einer Ausmessung des Kosmos bis zu Distanzen von Milliarden von Lichtjahren geführt hat<sup>(1)</sup>.

### **Sterne, Galaxien und Galaxienhaufen**

Ein Blick zum Himmel zeigt uns: Die Materie im Universum ist sehr ungleichmässig verteilt. Wir finden sie konzentriert in Sternen, und diese sind in grösseren Gebilden, den Sternsystemen oder Galaxien organisiert. Galaxien kommen in

verschiedenen Formen vor, am bekanntesten sind die «Spiralnebel» (**Abbildung 3**). Doch auch die Galaxien sind nicht gleichmässig, d.h. rein statistisch im Raume verteilt. Sie kommen vielmehr in Haufen (Clusters of Galaxies) vor, von denen die grössten mehr als tausend Galaxien enthalten. Der uns nächstgelegene Haufen ist der Virgo-Haufen (**Abbildung 4**), an dessen Rand sich die Galaxis, die unser Sonnensystem beherbergt, befindet.

Aber auch jenseits der Dimensionen von Galaxienhaufen beobachten wir noch Inhomogenitäten in der Materieverteilung. Diese werden mit exotischen Namen wie «Great Attractor» belegt. Trotzdem herrscht bis heute die Ansicht vor, dass mit zunehmender Grösse des betrachteten Volumens die Verteilung der Materie im Verhältnis immer homogener wird.



**Abbildung 3: Die Galaxie M66**

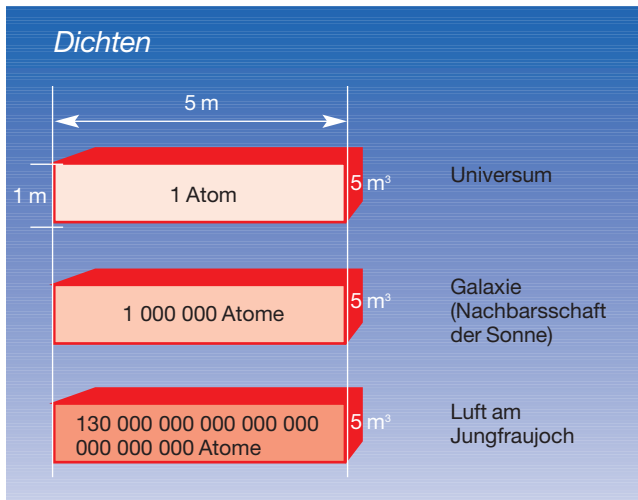
Das Licht der Galaxien ist das Licht ihrer Sterne. Wie andere Galaxien besteht M66 aus schätzungsweise 100 Milliarden Sternen.



**Abbildung 4: Der Virgo-Haufen**

Unsere Galaxis liegt am Rande des Virgo-Haufens und wird daher von diesem merklich angezogen. Daraus resultiert eine lokale Bewegung, die der grossräumig beobachteten Flucht der Spiralnebel überlagert ist. So kommt es, dass unsere Galaxis und der Andromedanebel sich nicht voneinander entfernen, sondern sogar nähern.

(1) Das Heft Nr. 78 (Februar 1997) von Uninova, dem Wissenschaftsmagazin der Universität Basel, ist der Astronomie gewidmet. Der Artikel von Gustav Andreas Tammann in diesem Heft beschreibt die Methoden und Ergebnisse der kosmischen Distanzmessungen. Prof. Tammann hat zur Bestimmung der Dimensionen und des Alters des Universums bahnbrechende Beiträge geleistet.



**Abbildung 5: Vergleich von Dichten**

Man sagt, die Luft auf dem 3475 m hohen Jungfrau-Joch sei schon recht dünn, ihre Dichte ist aber im Vergleich zur Dichte in einer Galaxie und erst recht zur Dichte im Universum unglaublich gross. Dieser Vergleich veranschaulicht die sprichwörtliche Leere des Universums.

Im Raum zwischen den Galaxien und noch mehr zwischen den Haufen ist die Materiedichte äusserst gering (**Abbildung 5**). «Leere herrscht im Universum!»

### Die «Flucht der Spiralnebel»

Im Jahre 1929 entdeckte der amerikanische Astronom Edwin Hubble die «Flucht der Spiralnebel»: Er beobachtete, dass die Galaxien sich systematisch von uns entfernen: Die von ihm gemessene Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien wird mit zunehmendem Abstand immer grösser (vgl. **Abbildung 6**). Diese Entdeckung ist heute nachdrücklich bestätigt und erhärtet<sup>(1)</sup>. Heute sind wir sicher, dass das Universum wirklich expandiert.

Die Darstellung in **Abbildung 6** veranschaulicht, dass sich die fernen

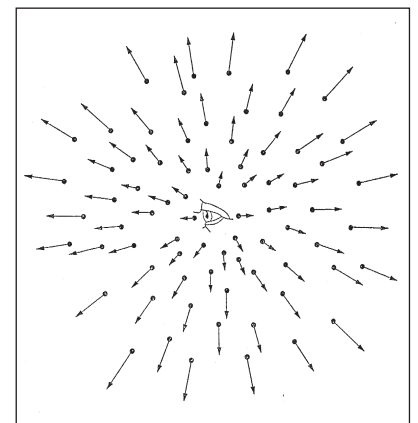
Spiralnebel systematisch nicht nur von uns entfernen, sondern auch von jedem anderen Punkt des Universums. Dies bedeutet: Das Universum hat kein Zentrum: Es ist demnach gleichgültig, ob ich ein Bewohner des Andromedanebels oder in unserer Galaxis zu Hause bin. In jedem Falle fliegt sozusagen alles von mir weg.

Durch die Entdeckung Hubbles wurde auch das heliozentrische System des Universums endgültig widerlegt. Wir betonen aber, dass die Sonne selbstverständlich nach wie vor das Zentrum des Planetensystems bildet.

### Dimensionen im Universum

Die **Abbildung 7** gibt einen Eindruck von der Tiefe des Universums. Die grösser erscheinenden Galaxien wei-

sen geringere Rotverschiebungen auf als die kleineren, das heisst, die ersteren liegen uns näher. Der entfernteste Galaxienhaufen ist in **Abbildung 8** gezeigt. Seine Distanz wurde zu 12 Milliarden Jahre bestimmt. Das Universum kann aber noch grösser sein, und wir können zur Zeit nicht ausschliessen, dass es unendlich gross ist. Wir wollen diese Frage nicht weiter verfolgen, weil wir dann näher auf die Allgemeine Relativitätstheorie Einsteins eingehen müssten. Diese Theorie lässt verschiedene Lösungen zu; man muss die Frage nach der Homogenität und der Unendlichkeit des Universums durch Vergleich zwischen diesen Lösungen und den Beobachtungen beantworten.

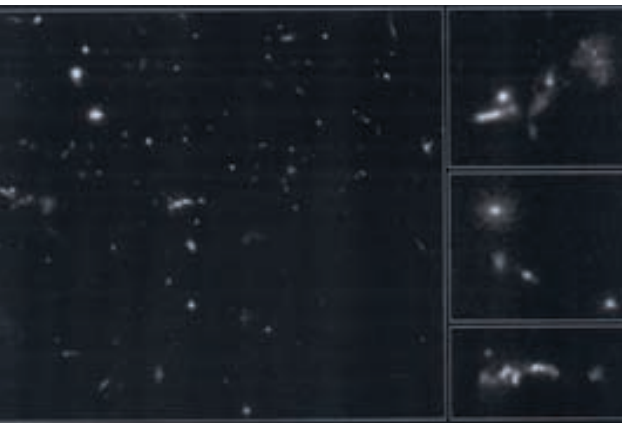


**Abbildung 6: «Flucht der Spiralnebel»**

Von uns aus gesehen fliegen die fernen Galaxien davon. Die Fluchtgeschwindigkeit wird mit zunehmendem Abstand grösser, woraus folgt, dass das Universum kein Zentrum hat. Die Fluchtbewegung wird nämlich von jedem Punkt des Universums aus in gleicher Weise wahrgenommen. Dieses Bild (nach Hubert Reeves) lässt dies leicht erkennen: Nehmen wir irgendeine der als Punkt dargestellten Galaxien und beziehen – mit Hilfe der Vektor-Additionsregeln – alle Geschwindigkeitspfeile auf diesen Punkt, so sehen wir, dass sich alle anderen Galaxien auch von diesem Bezugspunkt entfernen. Jeder Punkt, jede Galaxie ist also gleichberechtigt bezüglich der Relativbewegungen im Raume.

**Im Kasten «Vergleich der Dimensionen»**

werden die Dimensionen des Kosmos, der Galaxis und des Sonnensystems verglichen. Die Hierarchie der Grössen ist beeindruckend. Die nächsten Sterne sind 3 Lichtjahre von uns entfernt, im Vergleich zu kosmischen Dimensionen ist das sehr nah. Doch wie winzig klein nimmt sich erst unser Sonnensystem mit seinem Durchmesser von 0.002 Lichtjahren aus! Und dann die Distanz Erde – Mond, die doch die grösste Entfernung ist, die je zwischen Menschen und ihrem Mutterplaneten lag. Die erste Reise zum Mond war eine bahnbrechende Leistung. Aber, wie der Vergleich zeigt, ist es nicht einmal ein erster Schritt zur Eroberung des Weltalls.



**Abbildung 8: Der entfernteste Galaxienhaufen**

Derartig entfernte Objekte können nur mit dem Hubble Space Telescope beobachtet werden. Dieses wurde von der NASA konstruiert und in den Weltraum gebracht, wobei die europäische Weltraumbehörde ESA einen Anteil von 15% hat.

Anfangs war die Bildschärfe des Teleskops durch einen Konstruktionsfehler beeinträchtigt. Im Jahre 1993 wurde dieser Fehler anlässlich des Shuttle-Fluges STS 61 korrigiert. Hierbei hatte der Schweizer Astronaut Claude Nicollier einen hervorragenden Anteil.



**Abbildung 7: Hubble Deep Field**

Es handelt sich hier um eine der schönsten und wissenschaftlich ergiebigsten Aufnahmen mit dem grossen Hubble Space Telescope. Fast alle Objekte, die man sieht, sind Galaxien. Die gross erscheinenden liegen näher bei uns als die kleineren. Sterne sind an der kreuzförmigen Erscheinung ihres Lichts erkennbar. Es gibt nur ein oder zwei Sterne auf diesem Bild. Sie liegen vergleichsweise sehr nahe bei uns und gehören unserer Galaxis an.

**Alter des Universums**

Rechnet man die Flucht der Spiralnebel zurück bis zu dem Zeitpunkt, da alles noch beieinander lag, und berücksichtigt dabei noch Korrekturen für die Anziehung, so kommt man auf ein Alter von zirka 14 Milliarden

Jahren. Diese Zahl ist mit gewissen Unsicherheiten behaftet, es können 15 Milliarden oder auch nur 12 Milliarden Jahre sein. Den Grund für die Ungenauigkeit bilden zwei Faktoren: die zu unpräzisen Distanzangaben der Millionen von Lichtjahren entfernten Galaxienhaufen und die Verlangsamung der

**Vergleich der Dimensionen**

Beobachtetes Universum	> 12 000 000 000	Lichtjahre
Distanz zum Andromeda Nebel	2 000 000	Lichtjahre
Nächste Sterne	3	Lichtjahre
Sonnensystem	0,002	Lichtjahre
Distanz Erde-Mond	0,00000005	Lichtjahre



## Zeiten und Alter

Universum	ca. 14	Milliarden Jahre
«Dark Age of the Universe»	um 13	Milliarden Jahre
Erste Galaxien	ca. 12	Milliarden Jahre
Sonne & Erde	4,6	Milliarden Jahre
Kambrium	0,5	Milliarden Jahre
Letzte Eiszeit	0,00002	Milliarden Jahre

Expansion des Universums im Laufe der Zeit, die durch die gegenseitigen Anziehungskräfte bewirkt wird. Bevor man derartige Rückwärtsberechnungen mit genügender Genauigkeit anstellen konnte, schätzte man das Alter des Universums auf etwa 2 1/2 Milliarden Jahre, während man das Alter der Erde mit 4 1/2 Milliarden Jahren schon recht genau bestimmt hatte. Dieser offensichtliche Widerspruch ist seit etwa 35 Jahren durch immer bessere Messungen vom Tisch.

Der **Kasten «Zeiten und Alter»** gibt einen Überblick über kosmische und erdgeschichtliche Zeiten. Zwischen dem Big Bang und der Entstehung der Galaxien lag wahrscheinlich ein Intervall von 1 bis 2 Milliarden Jahren. Man nennt diese Epoche auch «Dark Age of the Universe», etwa mit «Finsterem Mittelalter» zu übersetzen. Dies hat zwei Gründe: Erstens weiss man wenig über diese Epoche, und zweitens war dazumal das Universum nach dem unglaublich hellen und heissen Big Bang unter 0° Celsius abgekühlt. Aber die ersten Sterne hatten noch nicht begonnen zu leuchten. Diese bildeten sich erst etwa 1–2 Milliarden Jahre später. (**Abbildung 9**).

Zur Entschlüsselung der Chrono-

logie des Sonnensystems und der Erde hat auch das Physikalische Institut der Universität Bern seit Jahrzehnten mit Altersbestimmungen an Meteoriten-, Mond- und Erdproben beigetragen. Wir wissen heute, dass die Sonne und alle Planeten vor 4,6 Milliarden Jahren während einer relativ kurzen Zeitspanne entstanden sind. Die Erde hat also ein respektables Alter, immerhin sind es 30% des Alters des Universums. Dagegen ist die Epoche der klassischen Geologie, die mit dem Kambrium begann, doch schon relativ kurz.



**Abbildung 9: Kugelsternhaufen**

Die Kugelsternhaufen sind in ihrer Gesamtheit innerhalb relativ kurzer Zeit entstanden. Dies gibt uns die Möglichkeit, aus einem Vergleich des Entwicklungsstadiums von Sternen verschiedener Grösse das Alter des Haufens, welches dem Alter seiner Sterne entspricht, zu bestimmen. Für die Sterne des gezeigten Haufens ergibt sich so ein Alter von 12 Milliarden Jahren.

## Materie im Universum<sup>(2)</sup>

Art und Verteilung der Materie ermöglichen uns, die Vorgänge im Frühstadium des Universums zu rekonstruieren (2). Sie geben uns Aufschluss über den Bildungsprozess und die Weiterentwicklung der Galaxis, aber auch über den Ursprung des Sonnensystems sowie über die Geschichte von Sonne, Planeten und Monden.

Die uns im heutigen Universum bekannten Teilchen sind in (**Abbildung 10**) zusammengestellt. Wir stellen damit drei grundsätzlich verschiedene Materietypen vor:

- 1 Die Atome bilden die «gewöhnliche» Materie.
- 2 Die Photonen oder Lichtteilchen

(2) Über dieses Thema fand im Mai 1997 am International Space Science Institute in Bern ein Workshop statt. Die Ergebnisse erscheinen im April 1998 unter dem Titel «Primordial Nuclei and their Galactic Evolution» (eds. Nikos Prantzos, Monica Tosi und Rudolf von Steiger) als Band 4 der Space Science Series of ISSI, Kluwer Academic Publishers.



## Die Bausteine der Atome

Baustein	Atomgewicht	Ladung	Ort im Atom
Proton	1,0073	positiv	Atomkern
Neutron	1,0087	neutral	Atomkern
Elektron	0,0005	negativ	Elektronenhülle

sind zwar sehr zahlreich, aber ihre Gravitationskraft spielt im heutigen Universum nur eine geringe Rolle, da sie masselos sind.

- 3 Die Neutrinos gehören zu einem dritten Typus, den wir «exotische» Materie nennen wollen.

Die «exotische» Materie zeichnet sich dadurch aus, dass sie mit der gewöhnlichen Materie und mit dem Licht nur sehr schwach in Wechselwirkung tritt. Deshalb wird die «exotische» Materie von uns nicht direkt wahrgenommen. Sie kann nur mit den subtilsten Metho-

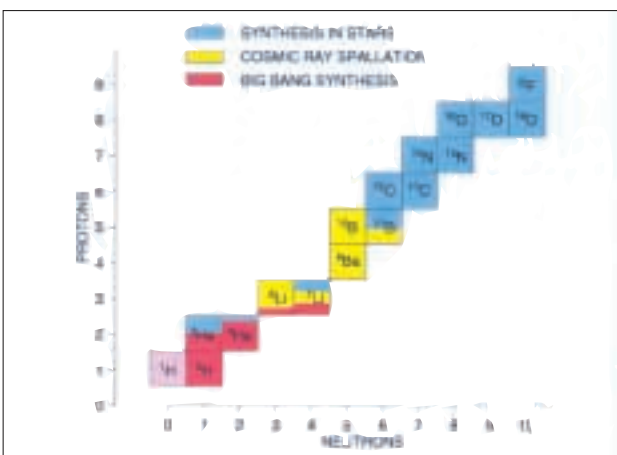
den der modernen Physik nachgewiesen werden. Die Massen der einzelnen Neutrinos sind sehr klein, wir wissen aber nicht, ob die Neutrinos vollständig masselos sind. Deshalb sind wir noch nicht sicher, ob ihre Gravitationskräfte im heutigen Universum eine wesentliche Rolle spielen. Wir werden später auf die «exotische» Materie zurückkommen und zunächst näher auf die «gewöhnliche» Materie eingehen.

Die «gewöhnliche» Materie umfasst alle chemischen Elemente mit ihren

stabilen und radioaktiven Isotopen. Sonne, Erde, Wasser und Luft sowie alle Lebewesen bestehen aus dieser «gewöhnlichen» Materie.

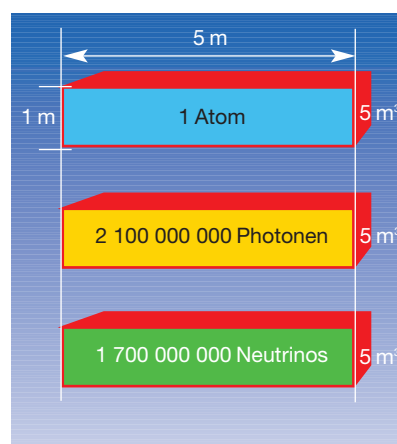
Die Bausteine der «gewöhnlichen» Materie sind die Protonen, Neutronen und Elektronen, deren Eigenschaften in **Kasten «Die Bausteine der Atome»** zusammengestellt sind. Sitz der Protonen und Neutronen sind die Atomkerne, die Elektronen bilden die Atomhülle. In **Abbildung 11** ist angegeben, wie die einzelnen Kerne entstanden sind. Im Big Bang werden nur die 6 leichtesten synthetisiert, nämlich die zwei Isotope von Wasserstoff ( $^1\text{H}$  und  $^2\text{H}$ ), von Helium ( $^3\text{He}$  und  $^4\text{He}$ ) und von Lithium ( $^6\text{Li}$  und  $^7\text{Li}$ ). Vollständig aus dem Big Bang stammt allerdings nur der schwere Wasserstoff ( $^2\text{H}$ , auch Deuterium genannt).

Wie wir später zeigen werden, ist der Prozess der Elementsynthese im Big Bang nach etwa drei Minuten abgeschlossen. Lithium ist das schwerste Element, das dabei entstanden ist. Zu den extrem seltenen Elementen Lithium, Beryllium und Bor trägt die Zertrümmerung schwerer Kerne durch die kosmi-



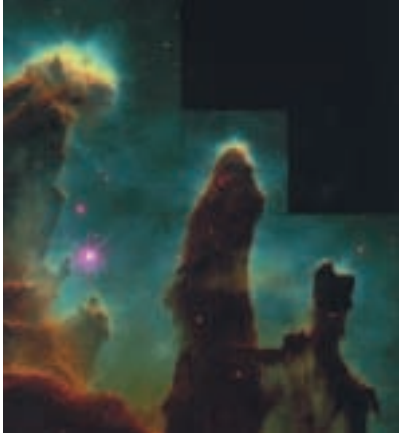
**Abbildung 11: Die Herkunft der chemischen Elemente und ihrer Isotope**

Im Big Bang werden nur die Isotope der drei leichtesten Elemente synthetisiert. Isotope eines Elements (z.B.  $^3\text{He}$  und  $^4\text{He}$ ) haben ungefähr gleiche chemische Eigenschaften. Sie unterscheiden sich nur durch ihr Atomgewicht, dessen abgerundeter Wert links vom Element-Symbol angegeben wird.



**Abbildung 10: Welche Bestandteile kennen wir im Universum?**

Die mittlere Anzahl Teilchen pro  $5 \text{ m}^3$  im heutigen Universum. Die Atome und die Photonen lassen sich aus Beobachtungen direkt «abzählen». Die Anzahl Neutrinos erhält man, wenn man die Theorie der Elementarteilchen, die Relativitätstheorie und die Thermodynamik auf die Prozesse im frühen Universum anwendet. Da die Photonen masselos sind, tragen sie im heutigen Universum zur Dichte (in  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) nur wenig bei. Die Massen der Neutrinos sind noch nicht gut bekannt. Falls sie nicht völlig masselos sind, könnte ihr Beitrag zur Gesamtdichte im Universum wichtig sein.



**Abbildung 12: Die Bildung der Sterne**

Ein Stern entsteht durch Gravitationskollaps eines Fragments einer interstellaren Dunkelwolke. In diesen Wolken ist die Dichte der Materie hoch und die Temperatur gering, so dass die Gravitationskräfte den Gasdruck überwinden können. Es kommt örtlich zum Kollaps, und es entstehen Sterne. Die oberen Bereiche der hier abgebildeten Dunkelwolke «Adler Nebel» sind durch neugebildete Sterne beleuchtet. Beobachtungen, chemische Daten und Isotopenanalysen in unserem Sonnensystem lassen darauf schliessen, dass Sonne und Planeten vor 4,6 Milliarden Jahren auf ähnliche Weise entstanden sind.

sche Strahlung bei. Der Aufbau aller schweren Elemente wie Kohlenstoff, Sauerstoff oder Eisen wird im Big Bang durch die Instabilität der Zwischenprodukte verhindert. Diese Elemente werden ausschliesslich bei den extrem hohen Dichten, die im Inneren der Sterne herrschen, synthetisiert (**Abbildungen 12 und 13**).

### **Kernsynthese im Big Bang**

Die Expansion des Universums bewirkt eine kontinuierliche Abkühlung der Materie. Diese erreichte eine Zehntelsekunde nach dem Big Bang (Universalzeit 0,1 Sekunde) eine Temperatur von 40 Milliarden Grad. Bei dieser Hitze sind alle



**Abbildung 13: Sterne als Quelle schwerer Elemente**

Bei den hohen Temperaturen und Dichten im Innern der Sterne werden aus den leichteren Elementen schwerere aufgebaut. Grössere Sterne verlieren im fortgeschrittenen Alter einen Teil ihrer Materie, manchmal relativ sanft, wie im Falle des hier abgebildeten Ringnebels, oder, im Falle sehr grosser Sterne, durch Super Novae Explosion. Gas und Staub in der Galaxis werden so allmählich immer reicher an schweren Elementen.

zusammengesetzten Atomkerne instabil, d.h. unsere gewöhnliche Materie bestand dazumal aus freien Neutronen, Protonen und Elektronen. Neutronen und Protonen wurden laufend ineinander umgewandelt, durch Austausch mit den in Überzahl vorhandenen Elektronen und Neutrinos. Hierbei resultierte ein Überschuss an Protonen, da diese etwas leichter und stabiler sind als die Neutronen. Expansion und Abkühlung des Universums bewirkten eine rasche Abnahme der Dichte von Elektronen und Neutrinos, so dass der genannte Austauschprozess bei der Universalzeit von 1 Sekunde praktisch zum Stillstand kam. Das Neutronen/Protonen-Verhältnis «fror ein». Nach etwa 100

Sekunden, als die Temperatur auf eine Milliarde Grad abgesunken war, begannen sich Neutronen und Protonen miteinander zu verbinden, es entstanden zusammengesetzte Atomkerne<sup>(3)</sup>. Dabei verbanden sich je zwei Neutronen und Protonen zu  $^4\text{He}$ , dem sehr stabilen, schweren Heliumisotop. Fast alle Neutronen wurden so im Helium fixiert, die Ausbeute an leichteren und schwereren Kernen ist sehr gering. Die Synthese im Big Bang ergab also im wesentlichen schweres Helium ( $^4\text{He}$ ) und, wegen des Protonenüberschusses, auch leichten Wasserstoff ( $^1\text{H}$ ).

### **Gültigkeitsbereich unserer physikalischen Gesetze: Test beim Universalalter von einer Sekunde**

Die Messung der Menge an Helium im Kosmos stellt einen kritischen Test dar für unser Verständnis der Vorgänge im frühen Universum, zu einer Zeit, da die Temperatur bei 1–10 Milliarden Grad lag, und der Druck bei  $10^{14}$ – $10^{18}$  Atmosphären. Die Übereinstimmung von theoretischer Vorhersage und Beobachtung ist verblüffend: Mit den aus Versuchen im Labor und Beobachtungen von Planetenbahnen hergeleiteten physikalischen Gesetzen berechnen wir, ohne irgendwelche Zusatzannahmen, dass der Big Bang 24–25 Gewichtsprozent an Helium produzieren sollte. Die astronomische Beobachtung ergibt 24,3–24,6 Prozent. Diese perfekte Übereinstimmung zwischen theoretischer Vorhersage und Himmelsbeobach-

(3) Diese Synthese von Atomkernen im Big Bang erfolgte bei wesentlich höheren Temperaturen als die Synthese von chemischen Stoffen. Ansonsten gibt es aber Analogien. Nehmen wir zum Beispiel die Verbrennung von Kohle: hier wird aus den Bestandteilen C (Kohlenstoff) und O<sub>2</sub> (Sauerstoff) das sehr stabile CO<sub>2</sub>-Molekül (Kohlendioxid) synthetisiert.



**Abbildung 14: Die Erde aus grosser Distanz gesehen**

Wasser und andere wasserstoffhaltige Substanzen enthalten neben dem normalen, leichten Wasserstoffisotop ( $^1\text{H}$ ) eine kleine Beimischung des schweren Isotops Deuterium ( $^2\text{H}$ ). Auf der Erde, also in den Gesteinen, im Meerwasser und in den Lebewesen, haben wir ungefähr ein Deuteriumatom unter 6000 Wasserstoffatomen.

Wie alles Deuterium im Universum wurde auch das irdische im Big Bang erzeugt. Oder anders ausgedrückt, fänden wir überhaupt kein Deuterium im Meer, so wäre bewiesen: es gab den Big Bang nicht. Also auch die gesamte Deuteriummenge, die wir in uns tragen – 2 bis 3 Gramm, je nach Körpergewicht – wurde im Big Bang synthetisiert, hat 14 Milliarden Jahre überdauert und ist unverfälscht in unseren Körper gelangt, eine faszinierende Vorstellung!

Der irdische Deuteriumgehalt im Wasserstoff von  $1/6000$  ist aber nicht repräsentativ für das Universum, weil in dem Wasserstoff, der auf die Erde gelangte, das Deuterium durch chemische Reaktionen angereichert wurde. Am genauesten lässt sich die universelle Deuteriumhäufigkeit bisher aus Sonnenwindmessungen und aus Absorptionsspektren des interstellaren Gases bestimmen.

tung lässt sich in ihrer Tragweite durchaus mit Newtons mathematischer Herleitung der Gesetze Keplers vergleichen. In beiden Fällen haben wir den Beweis des Wirkens der gleichen Gesetze am Himmel und auf der Erde, nur dass jetzt unter Himmel nicht nur unser Planetensystem, sondern das gesamte Universum zu verstehen ist. Umgekehrt deutet für sich genommen diese keineswegs selbstverständliche, sondern eher erstaunliche Gültigkeit der Naturgesetze an allen Orten und zu allen Zeiten im gesamten Universum darauf hin, dass dieses einen wohldefinierten Anfang hatte.

## Wieviel Materie gibt es im Universum?

Die Synthese von  $^4\text{He}$  im Big Bang ging über Zwischenprodukte. Zu diesen gehört der schwere Wasserstoff ( $^2\text{H}$ ), auch Deuterium genannt. Je geringer die Dichte zur Zeit der Elementsynthese war, desto unvollständiger verlief die Synthese zum  $^4\text{He}$ , d.h. desto mehr an Deuterium und anderen Zwischenprodukten blieb übrig. Man kann also aus der kosmischen Häufigkeit des Deuteriums die Menge an «gewöhnlicher» Materie im Universum berechnen.



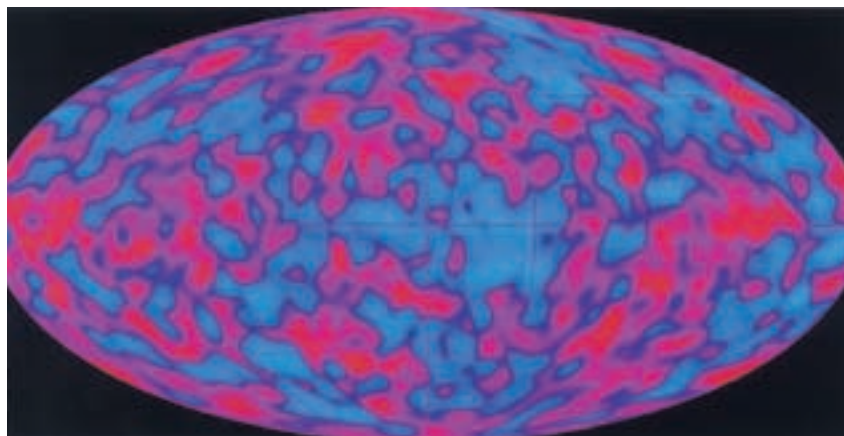
**Abbildung 15: Das schweizerische Sonnenwindexperiment**

Die Abbildung zeigt das schweizerische Apollo-Experiment SWC, welches kurz nach der ersten Mondlandung am 21. Juli 1969 von Edwin Aldrin aufgestellt worden ist. Bei vier weiteren Mondlandungen kam dieses Experiment zum Einsatz. Da Deuterium unmittelbar nach der Entstehung der Sonne in das leichte Heliumisotop  $^3\text{He}$  verwandelt wurde, konnte damit schon 1972 am Physikalischen Institut der Universität Bern aus dem gemessenen Isotopenverhältnis des Heliums im Sonnenwind der Deuteriumgehalt der Ur-Sonne und damit die Dichte der «gewöhnlichen» Materie im gesamten Universum berechnet werden.

Wie können wir nun die Menge an schwerem Wasserstoff im Universum bestimmen? Das Wasser auf der Erde gibt keine schlüssige Antwort (**Abbildung 14**). Aus Isotopenmessungen im Sonnenwind wurde schon Anfang der 70er Jahre das Verhältnis von schwerem zu leichtem Wasserstoff in der ursprünglichen Sonnenmaterie ermittelt (**Abbildung 15**). Inzwischen ist das Deuterium auch im interstellaren Gas, das uns heute umgibt, gemessen worden. Berücksichtigt man die Zerstörung von Deuterium in den Sternen unserer Galaxis, so ergibt sich, dass es im Universum direkt nach dem Big Bang 1 Deuteriumatom unter 30 000 Wasserstoffatomen gab. Hieraus kann man nun, wie oben erläutert, den Gehalt an «gewöhnlicher» Materie im Universum berechnen. Es ergibt sich 1 Atom in  $5 \text{ m}^3$  (vgl. **Abbildung 10**).

### «Exotische» Materie im Universum

Die Materiedichte im Universum lässt sich aber auch auf ganz andere Art bestimmen, nämlich aus den Anziehungskräften zwischen den Galaxien untereinander oder zwischen den Galaxien und dem Licht. Dabei ergeben sich aber 3–5 mal grössere Materiedichten! Wie kann man sich diese Diskrepanz erklären? Hierüber ist viel diskutiert worden, aber es scheint nur die eine Möglichkeit zu geben: neben der uns vertrauten «gewöhnlichen» Materie gibt es im Universum noch eine andere, «exotische» Art von Materie, die in ihrer Dichte und damit ihrer Gravitationswirkung die «gewöhn-



**Abbildung 16: Die Temperaturstrahlung («Hintergrundstrahlung») im Universum**  
Das Bild zeigt die Temperaturstrahlung aus der gesamten Himmelskugel. Die kosmische Temperatur, die im gesamten Universum herrscht, beträgt heute 2,73 K (2,73 Grad über dem absoluten Nullpunkt). Aufgezeichnet sind hier nicht die Temperaturen selbst, sondern deren winzige Anisotropien. Zwischen blau und rot besteht ein Temperaturunterschied von einem hunderttausendstel Grad. (COBE data, provided by the COBE Science Working Group, NSSDC, NASA Goddard Space Flight Center).

liche» sogar übertrifft. Zwischen der «gewöhnlichen» Materie und den Teilchen der «exotischen» Materie besteht nur eine sehr schwache Wechselwirkung. Die «exotischen» Materieteilchen laufen durch unsere Körper, ja durch die gesamte Erde ungehindert hindurch, man nennt sie daher *weakly interacting particles*. Es ist schwer vorstellbar: im Universum dominiert eine Form der Materie, von der wir direkt nichts merken.

Die Neutrinos, die wir aus Laboratoriumsexperimenten kennen, und deren Häufigkeit im heutigen Universum wir berechnen können (vgl. **Abbildung 10**) gehören in diese Klasse der «exotische» Materie. Falls Neutrinos eine wenn auch nur geringe Masse besitzen, könnten sie die beobachtete, zusätzliche Anziehungswirkung erzeugen. Es könnten aber auch viel schwerere «exotische» Teilchen existieren<sup>(4)</sup>.

### Wie können Galaxien entstehen?

Für die Zusammenballung der Materie in Galaxien und Galaxienhaufen sind zweifellos Gravitationskräfte verantwortlich. Berechnungen zeigen jedoch, dass diese Zusammenballung gar nicht so einfach zu bewerkstelligen ist. Während der ersten hunderttausend Lebensjahre unseres Universums war die gewöhnliche Materie nämlich an das Photonengas gekoppelt, und dieses bestimmte dann zumal den Verlauf der Expansion. Weil sie masselos sind, zeigten die Photonen jedoch keinerlei Neigung zur Zusammenballung und verhinderten dadurch auch das Zusammenballen der «gewöhnlichen» Materie. Als sich dann, nach etwa hunderttausend Jahren der Expansion, die Kopplung an das Photonengas abschwächte, war die «gewöhnliche» Materie

(4) Vgl. den Artikel «Bringing Dark Matter in from the Dark» von Prof. Klaus P. Pretzl, Leiter des Laboratoriums für Hochoenergiephysik an der Universität Bern, in der Zeitschrift «Europhysics News», Band 24, S.167–171 (1993).



schon zu stark verdünnt, um noch eine für die Bildung von Galaxienhaufen ausreichende Gravitationswirkung zu entfalten.

Die Existenz von «exotischer» Materie im Universum könnte die Entstehung der Galaxien und der Galaxienhaufen entscheidend begünstigt haben. Erstens scheint, wie oben gezeigt, ihre Dichte und damit ihre Gravitationswirkung stärker zu sein als diejenige der «gewöhnlichen» Materie. Zum anderen, und das ist noch wichtiger, ist die Kopplung der «exotischen» Materie an das Photonengas gering. Deshalb kann sie schon relativ früh «aus-

flocken» und Gravitationszentren bilden, die dann auch die Zusammenballung der «gewöhnlichen» Materie begünstigen.

### **Die Restwärme im Universum**

Wir haben oben erwähnt, dass das Photonengas die Dynamik des frühen Universums entscheidend beeinflusst hat. Durch die mit der Expansion während 14 Milliarden Jahren einhergehende Abkühlung sind die Photonen heute für die Dynamik recht bedeutungslos. Ihre Zahl und mittlere Energie ent-

spricht einer Temperatur von 2.73 Kelvin (d.h. 2.73 Grad über dem absoluten Nullpunkt). Obwohl die Photonen – weil masselos – nicht zur Zusammenballung neigen, beobachten wir doch ganz geringe Anisotropien in der Temperatur des Universums (**Abbildung 16**). Diese spiegeln den Beginn der Zusammenballungen der «gewöhnlichen» Materie und der «exotischen» Materie wider. Mit den sich in der Entwicklung befindlichen Satelliten, MAP der NASA und Planck der ESA, sowie mit Beobachtungen vom Boden aus, sollen die Temperaturanisotropien wesentlich genauer ausgemessen werden. Wir hoffen,



**Abbildung 17: Der Andromeda-Nebel**

Dies ist die uns am nächsten gelegene voll ausgebildete Galaxie. Sie ist unserer Galaxis bezüglich Grösse und Struktur ähnlich und ist von blossen Auge im Sternbild Andromeda sichtbar. Die Bezeichnung «Nebel» ist irreführend, denn das Licht stammt von 100 Milliarden Sternen.

## Zukunftsperspektiven

Verdoppelung des CO <sub>2</sub> in der Luft	in	60 Jahren
Nächste Eiszeit	in	20 000 Jahren
Die Sonne wird zum Roten Riesen	in	5 000 000 000 Jahren
Kollision oder «near miss» mit dem Andromeda-Nebel	in	6 000 000 000 Jahren
Unser Universum fällt in sich zusammen	wahrscheinlich nie	

dass die Resultate eindeutig Auskunft geben werden über die Entstehung der Galaxienhaufen. Insbesondere darüber, ob «exotische» Materie dabei eine wesentliche Rolle gespielt hat, und welcher Art diese «exotische» Materie ist, die wahrscheinlich heute noch das Universum füllt.

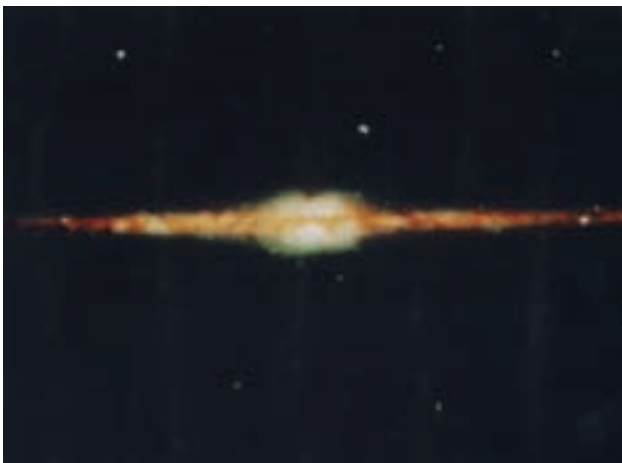
## Wo stehen wir, was bringt die Zukunft?

Ein paar zukünftige Ereignisse sind im **Kasten «Zukunftsperspektiven»** zusammengestellt.

Von unmittelbarem Interesse für die Menschheit sind die beiden ersten Aussagen. Trotzdem wollen nicht

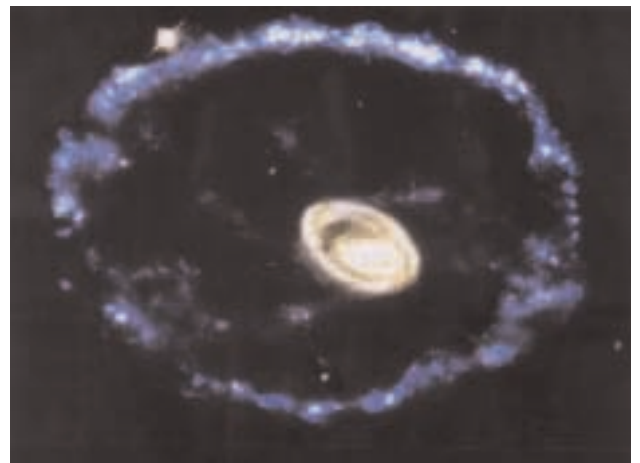
nur Wissenschaftler liebend gerne wissen, was eigentlich mit der Sonne und der Erde langfristig passieren wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass unser Zentralgestirn einstmals mit einem Stern kollidiert und zerstört wird, ist klein. Hingegen wird sich die Sonne in etwa 5 Milliarden Jahren, wenn ihr Wasserstoffvorrat aufgebraucht ist, in einen Roten Riesen verwandeln. Dabei dehnt sie sich gewaltig aus und verbreitet eine unglaublich starke Strahlung. Das bedeutet das Ende allen Lebens auf der Erde. Als weitere direkte Auswirkung werden die Planeten und deren Atmosphären ihre Eigenschaften ändern, was das Aus für unser Sonnensystem, so wie wir es heute kennen, bedeutet.

Bald darauf, in kosmischer Zeitrechnung gedacht, bahnt sich bereits die nächste Katastrophe an. Der



**Abbildung 18: Infrarot-Aufnahme der Galaxis durch den COBE-Satelliten.**

Das Bild könnte den Eindruck erwecken, es sei von einem Ort ausserhalb unserer Galaxis aufgenommen, was natürlich nicht zutrifft. Aufnahmen dieser Art sind nur deshalb möglich, weil wir uns im äusseren Teil der Galaxis befinden und die Intensität der Infrarotstrahlung gegen das Zentrum hin stark zunimmt.



**Abbildung 19: Kollision zweier Galaxien**

Sollten unsere Galaxis und der Andromeda-Nebel in sechs Milliarden Jahren kollidieren, könnte sich einem zukünftigen entfernten Betrachter ein Bild dieser Art zeigen. Die Cartwheel Galaxy ist nämlich das Produkt einer Kollision zweier Galaxien.

Andromedanebel (**Abbildung 17**) und unsere Galaxis (**Abbildung 18**) bewegen sich nämlich aufeinander zu. Nach heutigen Beobachtungen werden die beiden in sechs Milliarden Jahren entweder nahe aneinander vorbeifliegen oder gar miteinander kollidieren. Was dann genau passieren wird, ist offen und diese Frage ist ja auch nicht sehr akut. **Abbildung 19** zeigt aber die Auswirkungen einer Kollision zweier Galaxien recht eindrücklich.

Die grosse philosophische Frage, ob sich das Universum immer noch weiter ausdehnen wird oder in sich zurückfällt (der sogenannte Big Crunch) können wir noch nicht schlüssig beantworten. Nach heutiger Einschätzung reichen aber die Anziehungskräfte der Materie nicht aus, um die Expansion des Universums umzukehren.

## Schluss- bemerkung

### **Spezialisierung, aber auch Integration bei den Naturwissenschaften**

Es wird heute oft geklagt, die Naturwissenschaft begäbe sich immer mehr auf den Weg der Spezialisierung. Dies ist in mancher Beziehung richtig, aber es sollte auch erkannt werden, dass gegenläufig zur Spezialisierung fortwährend auch ein den Naturwissenschaften inhärenter Integrationsprozess abläuft. Der Grund liegt in der Allgemeingültigkeit der Naturgesetze, die immer wieder zu Vereinheitlichungen von Theorien und zu neuen Querverbindungen zwischen scheinbar streng getrennten Wissensgebieten führt. Eines der wichtigsten Beispiele in neuerer Zeit ist die Molekularbiologie, in der sich Quantenphysik, Chemie und Biologie treffen.

### **Never say never!**

Auch in die Kosmologie werden immer mehr Teildisziplinen und Methoden der Astronomie und Physik einbezogen. Mein Vortrag vermittelt davon vielleicht einen Eindruck. Dies wird sich fortsetzen. Und – wer weiss – vielleicht wird eines Tages ein ganz grosser Schritt getan: Die Suche nach Anzeichen oder Spuren ausserirdischen Lebens

wächst allmählich aus dem Stadium der zum Teil wilden Spekulationen und unbegründeten Behauptungen hinaus. Es gibt heute Ansätze und Möglichkeiten der Beobachtung, die es erlauben, mit naturwissenschaftlichen Methoden nach direkten oder indirekten Spuren ausserirdischen Lebens im Sonnensystem und sogar in der Galaxis zu suchen. Sollten diese Versuche konkrete Hinweise oder gar Ergebnisse zeitigen, so würden nicht nur die Biologie, sondern auch viele Geisteswissenschaften näher an die astronomisch-physikalische Kosmologie rücken. Ich persönlich glaube, wir sind noch recht weit davon entfernt, konkrete Evidenz für ausserirdisches Leben zu finden, aber niemand weiss, wie weit.

*Ich möchte diesen Artikel Sir Hermann Bondi widmen. Dieser hat während mehr als vierzig Jahren wichtige wissenschaftliche Arbeiten und tiefe Gedanken zur Kosmologie und zur Kosmogonie beigetragen. In seiner Zeit als Director General der Europäischen Weltraumforschungsorganisation ESRO hat er Astronomie und Astrophysik in das Wissenschaftsprogramm aufgenommen. Schliesslich hat Sir Hermann bei der Gründung des International Space Science Institute Pate gestanden, er hielt am Eröffnungsabend die Festrede.*

*Ich danke Frau Dr. Kathrin Altwegg für ihren Rat und ihre Hilfe bei der Vorbereitung meines Vortrags und Herrn Prof. Rudolf Treumann für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Herrn Peter Abgottspon danke ich für die Redaktion und Herrn Dr. Hansjörg Schlaepfer für die Herausgabe dieses Artikels.*

# SPATIUM

## Zum Autor



Prof. Johannes Geiss wurde 1926 in Pommern geboren, promovierte 1953 an der Universität Göttingen und habilitierte sich 1957 nach mehreren Forschungsaufenthalten in den USA an der Universität Bern. Nach einer Professur für Ozeanwissenschaften an der Universität von Miami wurde er 1960 Professor, ab 1966 Direktor des Physikalischen Instituts und 1982/83 Rektor der Universität Bern.

In diese Zeit fallen auch weitere Forschungsaufenthalte in Frankreich und den USA. Die Öffentlichkeit verbindet den Namen von Prof. Geiss mit dem Sonnenwind-Segel, das die amerikanischen Astronauten 1969 als erstes Experiment auf dem Mond in Betrieb genommen haben.

Seither war und ist Professor Geiss massgeblich an wissenschaftlichen Projekten der NASA und der Europäischen Weltraumorganisation ESA beteiligt.

Johannes Geiss ist Gründer des Vereins Pro ISSI und heute geschäftsführender Direktor des International Space Science Institutes ISSI in Bern. ISSI wird von der gleichnamigen durch Contraves Space in Zürich gegründeten Stiftung getragen. Das Institut wird hauptsächlich von der Europäischen Weltraumorganisation ESA, von der Schweizerischen Eidgenossenschaft, vom Kanton Bern sowie vom Schweizer Nationalfonds finanziert. ISSI widmet sich der interdisziplinären Erforschung des Sonnensystems und des Universums, indem es Wissenschaftler aus aller Welt zu Arbeitstagen und Workshops einlädt und ihnen Gelegenheit gibt, ihre Erkenntnisse und die neuesten Ergebnisse der Forschung auszutauschen und zu bewerten. Grundlagen dieser Forschungstätigkeiten sind die Weltraummissionen der Raumfahrtagenturen Europas, der USA, Russlands und Japans, aber auch Experimente im Labor und Simulationen auf dem Computer.