

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-

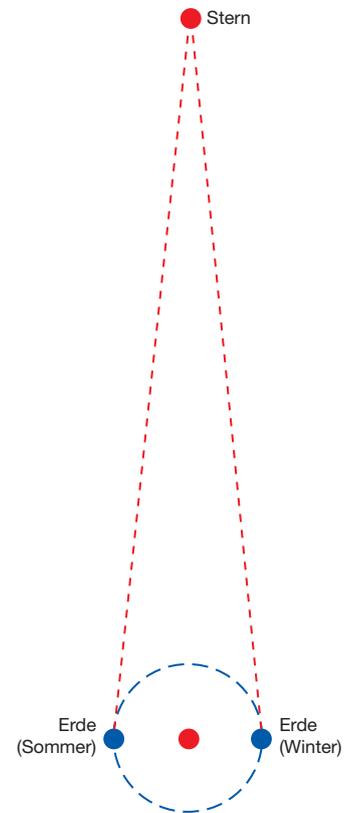


Abbildung 2: Die Entfernungsmessung mit der Parallaxen-Methode

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 Winkeländerung (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⁽¹⁾.

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.

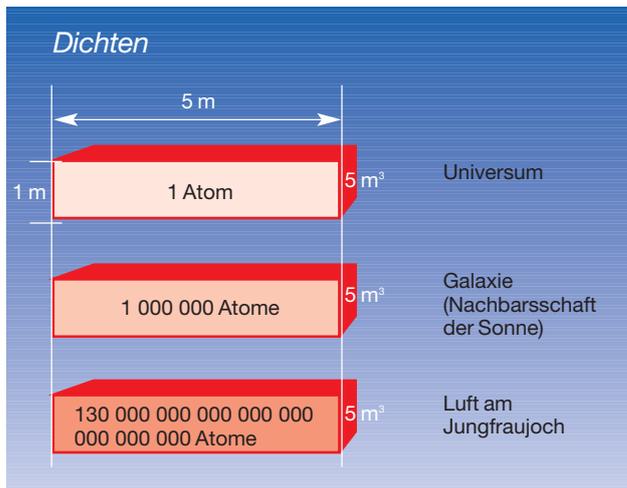


Abbildung 5: Vergleich von Dichten

Man sagt, die Luft auf dem 3475 m hohen Jungfraujoeh 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⁽¹⁾. 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 Andromedanebel 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.

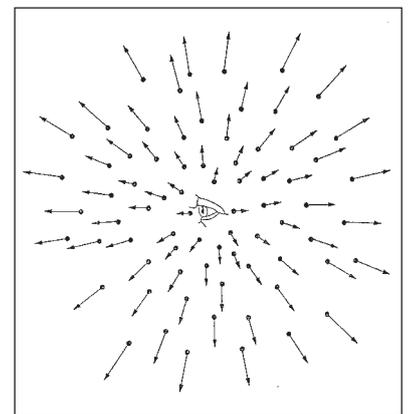


Abbildung 6: «Flucht der Spiralnebel»

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 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.

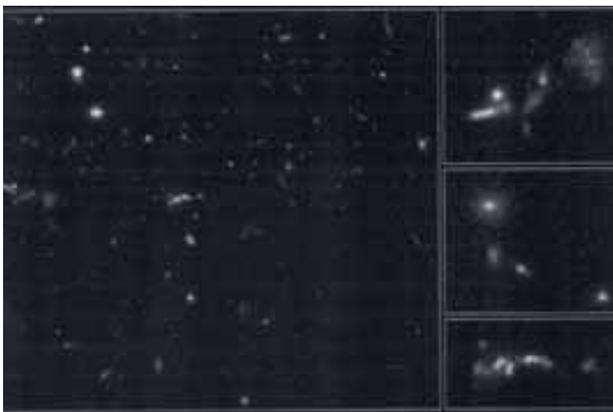


Abbildung 8: Der entfernteste Galaxienhaufen

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.

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