

SÜDWESTRUNDFUNK
SWR2 AULA - Manuskriptdienst
(Abschrift eines frei gehaltenen Vortrags)

**„Dunkle Materie, Schwarze Löcher und Co. -
Absurditäten im Kosmos (1)“**

Autor und Sprecher: Professor Harald Lesch *
Redaktion: Ralf Caspary
Sendung: Montag, 1. November 2010, 8.30 Uhr, SWR2

Bitte beachten Sie:

*Das Manuskript ist ausschließlich zum persönlichen, privaten Gebrauch bestimmt.
Jede weitere Vervielfältigung und Verbreitung bedarf der ausdrücklichen
Genehmigung des Urhebers bzw. des SWR.*

*Mitschnitte auf CD von allen Sendungen der Redaktion SWR2 Wissen/Aula
(Montag bis Sonntag 8.30 bis 9.00 Uhr) sind beim SWR Mitschnittdienst in
Baden-Baden für 12,50 € erhältlich.*

Bestellmöglichkeiten: 0722 1/929-6030

Kennen Sie schon das neue Serviceangebot des Kulturradios SWR2?

*Mit der kostenlosen SWR2 Kulturkarte können Sie zu ermäßigten Eintrittspreisen
Veranstaltungen des SWR2 und seiner vielen Kulturpartner im Sendegebiet besuchen.
Mit dem kostenlosen Infoheft SWR2 Kulturservice sind Sie stets über SWR2 und die zahlreichen
Veranstaltungen im SWR2-Kulturpartner-Netz informiert.*

Jetzt anmelden unter 0722 1/300 200 oder swr2.de

*SWR 2 Wissen können Sie ab sofort auch als Live-Stream hören im SWR 2
Webradio unter www.swr2.de oder als Podcast nachhören:
<http://www1.swr.de/podcast/xml/swr2/wissen.xml>*

Ansage:

Mit dem Thema: „Dunkle Materie, Hintergrundstrahlung und Schwarze Löcher -
Absurditäten im Kosmos“.

Heute und am nächsten Sonntag geht es um Dinge im Weltall, die man als Mensch mit seiner spezifisch begrenzten Auffassungsgabe und seinem begrenzten Erkenntnisvermögen einfach nicht mehr verstehen kann. Und das beginnt eigentlich schon bei den Fundamenten des Kosmos, oder kann man sich auf irgendeine Weise Ablauf und Wirkung des Urknalls vorstellen?

Harald Lesch ist Professor für Astrophysik an der Universität in München und gleichzeitig Experte für solche Absurditäten oder für das absurde Universum. Er beschäftigt sich mit der dunklen Materie, mit unvorstellbaren Entfernungen, mit Strings und mit dem Nichts. Denn wenn man fragt, woraus das Universum eigentlich besteht hauptsächlich, so lautet die Antwort des Astrophysikers: Aus dem Nichts. Und deshalb beginnt Harald Lesch den ersten Teil heute mit dem Nichts, der Leere und der Kälte im Universum:

Harald Lesch:

Man kann eigentlich nur mit einem Lachen beginnen, weil das Thema „das absurde Universum“ so absurd ist, dass man auch mit einem beliebigen anderen Thema beginnen könnte, zum Beispiel mit dem ehemaligen hessischen Ministerpräsidenten Roland Koch. Lachen Sie nicht, Sie werden gleich sehen, was ich meine. Roland Koch hatte sich vor allem auch dadurch bekannt gemacht, dass er seinen Wortschatz mit einem Super-Superlativ angereichert hat: Bis dahin gab es die Worte „brutal“ und „unmöglich“, in den Steigerungsformen „brutalst“ beziehungsweise „unmöglichst“. Aber beide Begriffe zu einem zusammenzunehmen und daraus „brutalstmöglichst“ zu bilden, das hat ihn ein für alle Mal in die Annalen der deutschen Sprache katapultiert. Und damit sind wir genau beim Punkt: Herr Koch, wenn Sie glauben, Sie hätten den Superlativ des Universums formuliert - falsch! „Brutalstmöglichst“ ist eigentlich noch viel zu wenig. Bevor ich mich jetzt aber in der deutschen Sprache verliere, will ich Ihnen einfach erzählen, was ich meine:

Schauen Sie einfach mal raus in einen dunklen Nachthimmel. Sie werden im Nachthimmel kleine Lichtpunkte bemerken, einige von ihnen funkeln, andere nicht. Die nichtfunkelnden Lichter sind die Planeten. Zum Beispiel der Jupiter, den können wir prima sehen. Jupiter ist übrigens der größte Planet im Sonnensystem, er ist doppelt so schwer wie alle anderen Planeten zusammen, aber er ist eben doch nur ein Planet. Dass man den überhaupt sehen kann, ist an sich schon interessant. Das zeigt nämlich, dass zwischen uns beziehungsweise Ihrem Auge und dem Jupiter nichts ist und nichts Ihren Blick verstellt, sonst würden Sie ihn ja nicht sehen können. Das deutet schon mal darauf hin, worauf ich hinaus will: Das Universum ist das Leerste, was es überhaupt gibt und über das hinaus nichts mehr gedacht werden kann. Leerer als das Universum, das geht nicht. Und nur deshalb können wir den Jupiter sehen - und sogar die Sterne.

Der Jupiter ist recht nahe, das bedeutet: Während die Erde 150.000.000 km von der Sonne entfernt ist, ist der Jupiter ungefähr fünf mal so weit wie die Erde von der Sonne entfernt. Wie viel das genau ist, das überlasse ich Ihnen auszurechnen, das können Sie gerne nach der Sendung auf einem Blatt Papier tun. Das ist relativ wenig. Nur um das

nochmal anders zu sagen: Die Erde ist acht Lichtminuten von der Sonne entfernt, das Licht von der Sonne bis zur Erde benötigt acht Minuten. Der Jupiter ist fünfmal so weit von der Sonne entfernt, also braucht das Sonnenlicht zum Jupiter fünf mal acht gleich 40 Lichtminuten.

Das ist aber noch gar nichts. Sterne sind Lichtjahre von uns entfernt. Ein Jahr sind 365 Tage mal 86.400 Sekunden, das Licht hat eine Geschwindigkeit von 300.000 km pro Sekunde, das können Sie auch gerne mal ausrechnen. Das heißt, wenn Sie einen Stern sehen, dann bedeutet, dass das Universum leer sein muss, damit das Licht überhaupt zu uns kommt. Da draußen ist nichts, überhaupt nichts. An manchen guten Tagen kann man ja sogar im äußersten Norden einen kleinen Lichtfleck sehen, das ist die Andromeda-Galaxie. Die ist 2,25 Millionen Lichtjahre von uns entfernt. Dass man die sehen kann, bedeutet ja auch, das Universum ist noch viel leerer, als man lange Zeit gedacht hat. Kurzum: Man macht an den Abenden, an denen man die Sterne am Himmel sieht, eine kosmologische Erfahrung: die Erfahrung, da draußen ist fast nichts. Die mittlere Dichte in der Milchstraße - und das ist ja sogar eine Sternen-Galaxie - ist gerade mal ein Teilchen pro Kubikzentimeter. Sie werden vielleicht sagen, naja, immerhin. Von wegen! Formen Sie mal zwischen Daumen und Zeigefinger einen Zwischenraum von 1 cm und stellen Sie sich nun 1 cm³ Luft vor. Da sind 100 Trillionen Teilchen drin. Das ist doch eine Zahl, die auch nach der Finanzkrise, wie ich finde, eine gewisse Schwere hat. 100 Trillionen ist die Dichte von Luft zwischen Daumen und Zeigefinger. Aber in der Milchstraße befindet sich nur ein Teilchen pro Kubikzentimeter.

Die mittlere Dichte des gesamten Universums, das zeigen zumindest die Beobachtungen, und die befinden sich sogar in Übereinstimmung mit den Theorien über das Universum, ist nur ein Teilchen pro Kubikmeter - also es ist noch leerer als die Milchstraße, die ja schon „überleer“ war - um es mit Thomas Mann zu sagen. Also das Universum ist leer - und es ist groß. Aber wahrscheinlich ist das dasselbe. 75 % des Universums sind total leer. Das ist sogar ein astronomischer Beobachtungsgegenstand, wenn man so will. Die Astronomen versuchen herauszufinden, ob nicht vielleicht doch irgendetwas in den Leerräumen, den so genannten „Voids“, drin ist.

An den Wänden dieser Leerräume befinden sind die Galaxien, die Galaxien-Haufen und die Galaxien-Superhaufen. Aber die liegen eben wirklich nur an den Rändern. Das hängt mit der Gravitation zusammen, die Gravitation ist die einzige Kraft, die immer anziehend wirkt. Grundsätzlich wirkt überall Gravitation, aber sie ist da etwas stärker, wo mehr Materie ist.

Offenbar muss es am Anfang des Universums leichte Schwankungen gegeben haben, und da wo es Schwankungen gibt, gibt es immer ein bisschen mehr von diesem und ein bisschen weniger von jenem. Und wenn es ein bisschen mehr ist, dann schlägt die Gravitation zu. Das heißt aber, wenn es an einer Stelle ein bisschen mehr ist, dann ist an anderer Stelle ein bisschen weniger. Und da, wo es weniger ist, ist die Schwerkraft auch ein bisschen weniger. Das führt zwangsläufig dazu, dass die Bereiche, wo es am Anfang schon ein bisschen weniger war, sich immer weiter entleeren und die Materie dahin „fließt“, wo es ein bisschen mehr war. Das ist klar, denn Gravitation zieht immer an. Das kann man übrigens auch mit Zinsen vergleichen: Zinsen, Zinseszins usw., die

ganze virtuelle Finanzwelt funktioniert so: Da, wo schon etwas ist, fließt immer noch mehr Geld hin, und diejenigen, die vorher schon nichts hatten, verlieren immer mehr. Das nennt man Instabilität.

Aber das wollte ich gar nicht erzählen. Ich wollte darüber berichten, wie die Leerräume eigentlich entstanden sind. Die Leerräume waren früher nicht leer. Sie sind heute leer, weil sie sich entleert haben. Als sie noch voll waren, gab es aber auch nicht diese Wände. Die Wände, also die Galaxien und Galaxien-Haufen, entstanden erst dadurch, dass Materie aus den Leerräumen quasi in das Kanalsystem dieser Wände hinein gelaufen ist, dahin, wo am Anfang des Universums ein bisschen mehr Materie gewesen ist. Warum? Weil Gravitation immer anziehend wirkt.

Das kosmische Netz, das man heute überall im Universum beobachten kann, ist schon eine tolle Entdeckung gewesen. Heutzutage beobachtet man also, dass Galaxien, zum Beispiel die Milchstraße, sich zusammen mit anderen Galaxien auf einen Galaxien-Haufen zubewegen. Und dieser Galaxien-Haufen bewegt sich auf einen Galaxien-Superhaufen zu. Das sind riesige Strukturen, Millionen und Abermillionen von Lichtjahren große Strukturen, wo Galaxien durch die Gravitation des gesamten Galaxien-Haufens wie Bienen in einem Bienenschwarm zusammen gehalten werden. Und da ein Galaxien-Haufen naturgemäß schwerer ist als eine Gruppe von Galaxien, zieht der Galaxien-Haufen die Gruppe zu sich heran. So passiert es unserer lokalen Gruppe, dem so genannten Virgo-Haufen, und der wird zusammen mit dem Galaxien-Haufen zu dem Galaxien-Superhaufen gezogen, weil der Superhaufen naturgemäß eben größer ist als der Haufen. Und so geht das immer weiter. Es gibt riesige Materie-Haufen da draußen, aber es gibt auch diese unsagbare Leere.

Trotz der Leere kann man immer noch Physik betreiben, die Physik des intergalaktischen Mediums oder die Physik des Inter-Clusters. Cluster ist das englische Wort für Haufen. Und das Material zwischen den Haufen, den Clustern, nennt man Intracluster-Gas. Und das kann man heute beobachten. Früher konnte man das nicht. Mit optischen Mitteln sieht man da nichts. Denn das Gas ist erstens viel zu dünn und zweitens viel zu heiß. Das Gas zwischen den Galaxien-Haufen gehört mit zum Heißesten, was es im Universum überhaupt gibt. Das Universum beinhaltet nicht nur das Leerste, über das hinaus nichts mehr gedacht werden kann, und das Größte, über das hinaus nichts mehr gedacht werden kann, sondern auch das Heißeste. Und weil es richtig heiß ist, kann man es nicht mit den Augen oder optischen Hilfsmitteln wie Fernrohren oder Teleskopen messen, sondern man braucht dazu spezielle Detektoren.

Material strahlt entsprechend seiner Temperatur. Das ist die so genannte Wärmestrahlung. Wenn etwas ganz kalt ist, dann gibt es langwellige elektromagnetische Strahlung ab, wenn es wärmer ist, gibt es sichtbare elektromagnetische Strahlung ab, und wenn es heiß wird, dann gibt es Ultraviolett-Strahlung ab oder Röntgen-Strahlung oder, wenn es ganz heiß ist, kommt sogar Gamma-Strahlung dabei heraus. Das normale Gas, zum Beispiel das der Sonne, hat eine Oberflächentemperatur von 5800° . Was glauben Sie: Ist das Licht der Sonne sichtbar? Ja klar, ist doch logisch. Das Licht der Sonne mit einigen 1000° gehört offenbar in den sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Die Sonne hat auch eine Ultraviolett-Strahlung, die

kennen wir alle, das ist die Sache mit dem Sonnenbrand. Auch Röntgen-Strahlung hat das Licht der Sonne, aber davon will ich jetzt nicht reden. Wir sind bei dem Gas zwischen den Galaxien-Haufen. Und das hat eine Temperatur von 100.000.000°. In manchen Fällen sogar noch mehr. Stellen Sie sich das mal vor! Und wo strahlt das Gas? Im Röntgen-Bereich.

Frage: Kann man von der Erde aus Röntgenastronomie betreiben? Natürlich nicht. Stellen Sie sich mal vor, wir könnten von der Erdoberfläche aus Röntgenastronomie betreiben. Wissen Sie, was das bedeuten würde? Dass die Röntgenstrahlung auf die Erdoberfläche käme, kommen müsste, sonst könnten wir sie ja nicht beobachten. Das tut sie aber nicht. Die Röntgenstrahlung zum Beispiel der Sonne und überhaupt der ganzen Welt da draußen bleibt in der oberen Atmosphäre stecken. Gott sei Dank, möchte ich fast sagen.

Und deswegen muss man, um Röntgenastronomie zu betreiben, ins Weltall. Man muss einen Satelliten hoch schicken mit einem Röntgen-Teleskop. Und genau so ist es passiert, das darf ich hier mal mit einem gewissen Stolz sagen: Es gab einen deutsch-amerikanischen Röntgen-Satelliten, er wurde vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in München gebaut und betrieben. Und die Kollegen fanden tatsächlich heraus, dass das Gas zwischen den Galaxien Temperaturen von bis zu 100.000.000° hat. Und das sind die höchsten Temperaturen, die man eigentlich für ein normales thermisches Material noch haben kann. Bei noch höheren Temperaturen fängt das Material an sich aufzulösen. Dann kommen die Effekte der Relativitätstheorie zum Tragen: $E=mc^2$. Die Energie ist natürlich Temperatur, und wenn die Temperatur zu hoch wird, dann kann die Masse sich auflösen und zu Strahlung werden.

Auch hier ist das Universum das Absurdeste, was man sich vorstellen kann. Unsere Moleküle, aus denen also unser Körper besteht, lösen sich schon bei 42 °C auf, das ist dann Fieber, das tödlich ist. Aber 100.000.000°! - Fahren Sie doch mal zu den Glasbläsern von Morano. Die Glasöfen haben eine Temperatur von 1000°. Das ist schon so hell, dass Sie die Augen zukneifen müssen. 100.000.000° wäre über alle Maßen hell - wenn es nicht so leer wäre. Deswegen sieht man es nicht. Man sieht es nicht, weil es so heiß ist. Die optische Strahlung dieses Gases ist nicht zu sehen. Man braucht also hier den hochenergetischen Teil des elektromagnetischen Spektrums, um diese irrsinnigen Strukturen da draußen zu verstehen. Irrsinnig im wahrsten Sinne des Wortes. Ich meine, wir reden hier über Strukturen, die sind 10, manchmal 100 Millionen Lichtjahre groß. Das ist doch aberwitzig!

Jetzt glauben Sie bloß nicht, ich könnte mir als Astrophysiker vorstellen, wie groß 100 Millionen Lichtjahre sind. Ich kann damit arbeiten. Das ist eine Zahl. Aber mehr auch nicht. Für uns Menschen ist eigentlich die Tatsache, dass wir einigermaßen vernünftig über so etwas reden können, ein Wunder.

Im Grunde genommen überprüfen wir Wissenschaftler immer nur eine Hypothese. Ich weiß nicht, ob Sie das gemerkt haben: Das habe ich Ihnen immer wieder subkutan unter die Großhirnrinde „geschoben“: ich kann Ihnen sagen, wie hoch die Temperatur eines Galaxien-Haufens ist oder des Gases zwischen den Galaxien-Haufen, und das geht nur,

wenn ich annehme, dass das, was ich an Strahlung sehe, zum Beispiel anhand des wunderbaren Gerätes Rosat, nur für uns sichtbar wird, wenn die Naturgesetze der Erde bezüglich des Zusammenhangs zwischen Licht und Materie da draußen auch gültig sind.

Das heißt, wenn wir durch Beobachtungen unsere theoretischen Vorhersagen bestätigen, dann wissen wir zwar nicht, ob unsere Modelle und Theorien wahr sind, aber zumindest sind sie noch nicht falsch. So funktioniert Wissenschaft. So kann man sich eben auch mit dem allergrößten, dem allerersten beschäftigen, wenn man eine Hypothese hat, die sich dadurch auszeichnet, dass sie ein gewisses Prognose-Potenzial besitzt. Und dann kann man prüfen, ob die Vorhersage wirklich zu beobachten ist. Und wenn das so ist, dann kann man zumindest sagen, die Theorie ist nicht falsch. Das ist doch schon mal etwas. Mein wunderbarer Kollege Gerhard Vollmer hat das einmal so ausgedrückt: Wir irren uns empor. So kann man sich durchaus mal selbst an das Allergrößte, über das hinaus nichts mehr gedacht werden kann, wagen. Und das machen wir jetzt hier in dieser Sendung.

Über Leere und Hitze haben wir schon gesprochen. Wir wissen, dass das Gas zwischen den Galaxien-Haufen heiß ist. Insgesamt ist das Universum aber eher kalt. Nun kann man das nicht einfach messen. Es fängt ja schon mit der Frage an, was das Universum eigentlich ist. Ist es ein Ball? Ein Donut? Woher soll man denn wissen, wie groß es ist? Es könnte so groß sein wie meine Kaffeetasse. Man weiß es nicht. Aber man kann etwas aussagen über die Innentemperatur des Universums.

Wir sind vertraut mit Temperaturen wie zum Beispiel 0° Celsius, wir wissen, dass Wasser bei 0° Celsius von oben nach unten gefriert. Aber können Sie mit einer Temperatur von -150° etwas anfangen? -70 oder -80° sind Rekord auf der Erde. Das Universum als Ganzes hat heute eine Innentemperatur von -271° C. Früher war es heißer. Physiker neigen dazu, nicht mit Celsius zu messen, sondern mit einer anderen Einheit, die bei null beginnt: 0 Kelvin, benannt nach dem früheren Physiker, einem Schotten, der ursprünglich William Thomson hieß. Als er zum Ritter ernannt wurde, hat er seinen Namen in Lord Kelvin geändert.

Jedenfalls wurde nach ihm diese Temperaturskala benannt. 0 K sind -273° C. Unter dieser Temperatur kann gewissermaßen nichts mehr gefroren werden. Das liegt ein bisschen an der Quantenmechanik. Diese Temperatur wird nie erreicht, aber sie kann auch nie unterschritten werden. Und das Universum hat heute eine Temperatur von 2,72 K. Das ist die Strahlungstemperatur, die Temperatur der Hintergrundstrahlung, die man aus dem Spektrum der Hintergrundstrahlung ableiten kann. Wo immer man in das Universum schaut, findet man ein Spektrum, das entspricht dem Spektrum eines Körpers, der Wärmestrahlung abgibt mit einer Temperatur von 2,72 K. Überall.

Ich werde Ihnen jetzt eine tolle Geschichte erzählen, und zwar wie diese Hintergrundstrahlung entdeckt worden ist: Toll ist die Geschichte vor allem, weil diese Strahlung von zwei Menschen entdeckt worden ist, die von Kosmologie überhaupt keine Ahnung hatten. Zwei Radioingenieure haben ein ständiges Rauschen und Brummen in ihren Radioempfängern festgestellt, egal, in welche Richtung sie sie auch hingehalten

haben. Es gibt ja nun für Radioingenieure nichts Schlimmeres als ein Brummen im Empfänger. Nachdem die beiden erfolglos alle möglichen Störquellen ausgeschlossen haben, sind sie auf der Suche nach einer Ursache durch verschiedene Kolloquien gezogen. Schließlich stießen Wissenschaftler in Princeton auf die Lösung. Es geht die Mär, dass Leute, die den Schilderungen dieser beiden Radioingenieure zugehört haben, ihre Bleistifte durchgebissen haben. Denn ohne es zu wissen, haben die zwei eine der wichtigsten Vorhersagen der Urknall-Theorie bestätigt, nämlich die kosmische Hintergrundstrahlung.

Die Urknall-Theorie macht eine Vorhersage, dass das gesamte Universum durchsetzt sein soll von einer Art von Strahlung, und zwar möglichst gleichmäßig, möglichst homogen. Sie erinnern sich noch warum? Am Anfang muss die Materieverteilung möglichst homogen gewesen sein, damit sich in den kleinen Fluktuationen die Galaxien bilden. Sie erinnern sich: Die Leerräume sind umgeben von Galaxien. Das muss ja alles einmal angefangen haben - wenn die Urknall-Theorie stimmt.

Die Urknall-Theorie hat eine ganze Reihe Vorhersagen getroffen, davon war die mit der kosmischen Hintergrundstrahlung die allerbeste. Nachdem sie nun Anfang der Sechzigerjahre des 20. Jahrhunderts von zwei Radioingenieuren entdeckt worden war, die, wie gesagt, keine Ahnung von Kosmologie hatten, war das ein ziemlich starker Hinweis darauf, dass die Urknall-Theorie vielleicht nicht nur möglich, sondern wahr ist. Immerhin ist sie von Leuten bestätigt worden, die überhaupt keine Ahnung davon haben. Ich glaube, das müsste man in jeder ordentlichen Wissenschaftstheorie einmal einbauen, den Faktor Dusel.

Aus der Urknall-Theorie stammt auch die Aussage, dass das Universum unheimlich groß sein muss, das größte, über das hinaus nichts mehr gedacht werden kann. So groß, dass man eigentlich gar nicht sagen kann wie groß.

Wie groß das Universum ist? Fragen Sie mich nicht, das weiß ich nicht. Das kann riesig sein. Ich weiß ja nicht, was da alles noch verborgen ist. Aber weil ich das nicht weiß, forsche ich weiter. Das Universum ist vielleicht der absolute Wahnsinn. Etwas, das ohne Superlative auskommt. Weil es genau weiß: ich bin das Universum.

*** Zum Autor:**

Harald Lesch lehrt theoretische Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München; seine Forschungsschwerpunkte sind: Schwarze Löcher, Neutronensterne und kosmische Plasmaphysik. Lesch ist Fachgutachter für Astrophysik bei der DFG und Mitglied der astronomischen Gesellschaft. Im Juni 2005 wurde ihm von der DFG der Communicator-Preis verliehen. Dieser persönliche Preis wird an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vergeben, die sich in hervorragender Weise um die Vermittlung ihrer wissenschaftlichen Ergebnisse in die Öffentlichkeit bemüht haben. Seit 2008 moderiert er die Fernsehsendung „Forschung aktuell“.

Bücher (Auswahl):

- (zus. mit Jörn Müller) Weißt du, wie viele Sterne stehen? Wie das Licht in die Welt kommt. Bertelsmann-Verlag.
- Kosmologie für Fußgänger. Goldmann-Verlag;
- Big Bang. Zweiter Akt. Bertelsmann-Verlag;
- Physik für die Westentasche. Piper-Verlag.