

## Kosmologischer Widerspruch?

Können Sie folgenden Widerspruch aufklären? Eine Galaxie in zehn Milliarden Lichtjahren Entfernung sehen wir heute so, wie sie vor zehn Milliarden Jahren aussah. Vor zehn Milliarden Lichtjahren befand sich dieselbe Galaxie jedoch in einer Entfernung von, sagen wir, drei Millionen Lichtjahren. Ein damaliger Beobachter würde die Galaxie also mit dem gleichen Aussehen sehen wie wir heute. Das heißt, das Aussehen der Galaxie hat sich in zehn Milliarden Jahren gar nicht verändert!

HEINZ SPANGENBERG, WÖRTH

Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich in der Tat aufklären. Ich nehme dazu Herrn Spangenberg's Ausgangsbeispiel und »verziere« es mit kosmologisch zutreffenden Zahlenwerten aus dem gegenwärtigen Standardmodell der Kosmologie. Eine Galaxie, von der wir heute – bei einem Weltalter von 13,8 Milliarden Jahren – Licht empfangen, das sie vor zehn Milliarden Jahren ausgesandt hat, sehen wir also bei einem Weltalter von etwa 3,7 Milliarden Jahren. Das entspricht einer Rotverschiebung von etwa  $z = 1,77$ . Das heißt, das Licht wurde ausgesandt als der Skalenparameter (das heißt die »Größe«) des Universums um den Faktor  $1 + z = 1 + 1,77 = 2,77$ -mal kleiner war als heute (siehe »Der Skalenfaktor«).

Die heutige Distanz, präzise mitbewegte Entfernung (englisch: comoving radial distance) genannt, dieser Galaxie ist keineswegs zehn Milliarden Lichtjahre, sondern ziemlich genau 16 Milliarden Lichtjahre. Und zur Zeit der Lichtaussendung war sie  $16/2,77 = 5,78$  Milliarden Lichtjahre entfernt. Aha, fragen Sie nun vielleicht, wie passt das aber zu der angenommenen Lichtlaufzeit von zehn Milliarden Jahren?

Antwort: Die Laufzeit ist länger als 5,78 Milliarden Jahre, weil sich das Universum in der Zwischenzeit vergrößert hat. Und sie ist kleiner als 16 Milliarden Jahre, weil die Entfernung die ganze

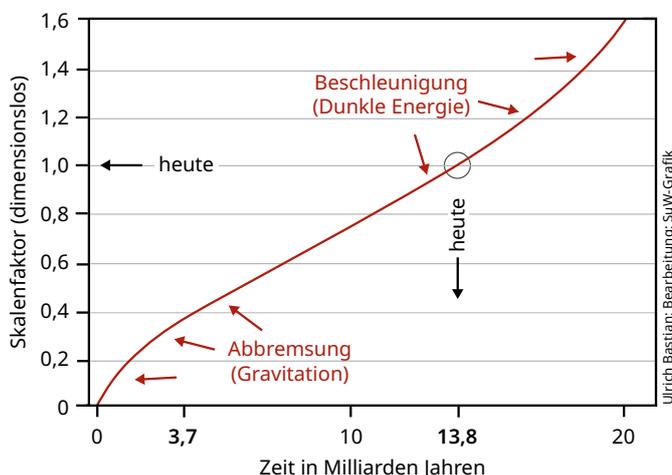
Zeit kleiner war als 16 Milliarden Lichtjahre – man könnte vereinfachend sagen, die Entfernung betrug während der zehn Milliarden Jahre Laufzeit »im Durchschnitt« zehn Milliarden Lichtjahre, und deshalb hat das Licht genau die zehn Milliarden Jahre benötigt.

Nun kann ich den von Herrn Spangenberg vermuteten Widerspruch in eine Frage umformulieren: In welchem Zustand oder in welchem Alter würde ein Beobachter in unserer Galaxis damals vor zehn Milliarden Jahren dieselbe Galaxie gesehen haben, deren Licht uns heute mit der Rotverschiebung von  $z = 1,77$  erreicht? Die Antwort lautet: Damals erreichte uns Licht von derselben Galaxie nach einer Lichtlaufzeit von grob zwei Milliarden Jahren. Wir würden also damals die Galaxie durchaus nicht im gleichen Alter von 3,7 Milliarden Jahren wie heute gesehen haben, sondern mit knapp zwei Milliarden Jahren – also etwa im halben Alter, in dem wir sie heute sehen. Und in der zweiten Hälfte ihres damaligen Alters, also im Zeitraum von etwa zwei Milliarden Jahren bis 3,7 Milliarden Jahren, hat sich ihr Aussehen ganz bestimmt kräftig verändert.

Ich denke, damit ist der Widerspruch aufgelöst. Und es sei hinzugesagt: Diese Auflösung hängt nicht an den konkreten Zahlenwerten, die hier verwendet wurden, sondern sie gilt in ihrer Logik für alle denkbaren Fälle. Zu deutlich früheren Zeiten sahen wir die gleiche Galaxie stets in deutlich jüngerem Alter.

Anmerkung für Leser, die tiefer gehen wollen: Als Standardmodell des Universums habe ich die folgenden Eingangsdaten verwendet.  $H_0 = 69,6 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$ ,  $\Omega_M = 0,286$ ,  $\Omega_\Lambda = 0,714$ . Alle weiteren genannten Zahlenwerte wurden daraus mit Hilfe des wunderbaren Webformulars [www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html](http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html) berechnet, das den schönen Titel *Ned Wright's Javascript Cosmology Calculator* trägt.

Edward L. »Ned« Wright ist Kosmologe und war an der NASA-Mission Cosmic Background Explorer (COBE) beteiligt, mit der die räumlichen Unregelmäßigkeiten in der kosmischen Hintergrundstrahlung im Jahr 1992 entdeckt wurden. Die Missionsleiter John Mather und George Smoot erhielten dafür im Jahr 2006 den Physiknobelpreis. ■



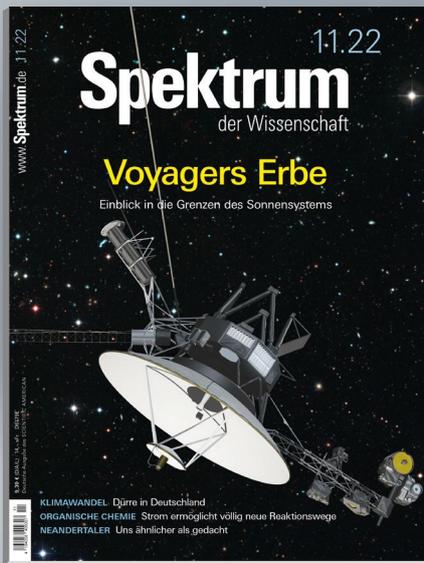
**Der Skalenfaktor** ist ein Maß für die Größe des Universums im Vergleich zum heutigen Wert, und hier aufgetragen als Funktion des Weltalters in Milliarden Jahren.

**Ulrich Bastian** ist der Leserbriefredakteur von SuW und arbeitet in Heidelberg an der Gaia-Mission der ESA.

Senden Sie uns Ihre Fragen zu Astronomie und Raumfahrt! Wir bitten Experten um Antwort und stellen die interessantesten Beiträge vor.

# Unsere Neuerscheinungen

Ob Naturwissenschaften, Raumfahrt oder Psychologie:  
Mit unseren Magazinen behalten Sie stets den Überblick  
über den aktuellen Stand der Forschung



Informationen und eine Bestellmöglichkeit  
zu diesen und weiteren Neuerscheinungen:  
service@spektrum.de | Tel. 06221 9126-743  
[Spektrum.de/aktion/neuerscheinungen](https://www.spektrum.de/aktion/neuerscheinungen)