

Was steht uns seit dem Urknall an Gesamtenergie zur Verfügung?

2

Hier noch einmal die kosmologischen Eckdaten (Tab. 2.1).

Das „standard hot big bang model“ basiert auf der Tatsache, dass die Gravitation die gesamte Entwicklung des Universums dominiert, die beobachteten Details werden von den Gesetzen der Thermodynamik, der Hydrodynamik, der Atomphysik, der Kernphysik und der Hochenergiephysik bestimmt. Abbildung 2.1 illustriert noch einmal Entstehung und Werdegang unseres Universums.

Es wird davon ausgegangen, dass während der ersten Sekunde nach dem Anfang die Temperatur so hoch war, dass ein vollständiges thermodynamisches Gleichgewicht herrschte zwischen Photonen, Neutrinos, Elektronen, Positronen, Neutronen, Protonen und diversen Hyperionen und Mesonen und möglicherweise Gravitonen.

Nach einigen Sekunden fiel die Temperatur auf etwa 10^{10} K, und die Dichte betrug etwa 10^5 (g/cm³). Teilchen und Antiteilchen hatten sich ausgelöscht, Hyperionen und Meson waren zerfallen und Neutrinos und Gravitonen hatten sich von der Materie entkoppelt. Das Universum bestand jetzt aus freien Neutrinos und vielleicht Gravitonen, den Feldquanten von hypothetischen Gravitationswellen.

In der nachfolgenden Periode zwischen 2 und etwa 1000 s fand eine erste ursprüngliche Bildung von Elementen statt. Vorher wurden solche Ansätze durch hochenergetische Protonen wieder zerstört. Diese Elemente waren im Wesentlichen α -Teilchen (He⁴), Spuren von Deuterium, He³ und Li, und machten 25 % aus, der Rest waren Wasserstoffkerne (Protonen). Alle schwereren Elemente entstanden später.

Tab. 2.1 Eckdaten des Kosmos

Maximaler Expansionsradius	$18,94 \times 10^9$ Lichtjahre
Zeit bis zur maximalen Ausdehnung	$29,76 \times 10^9$ Jahre
Alter	$1,4 \times 10^{10}$ Jahre
Heutige Dichte	$14,8 \times 10^{-30}$ (g cm ⁻³)
Heutiges Volumen	$38,3 \times 10^{84}$ (cm ³)
Dichte am Maximum	5×10^{-30} (g cm ⁻³)
Maximales Volumen	114×10^{84} (cm ³)
Gesamtmasse	$5,68 \times 10^{56}$ (g)
Anzahl Baryonen	$3,39 \times 10^{80}$

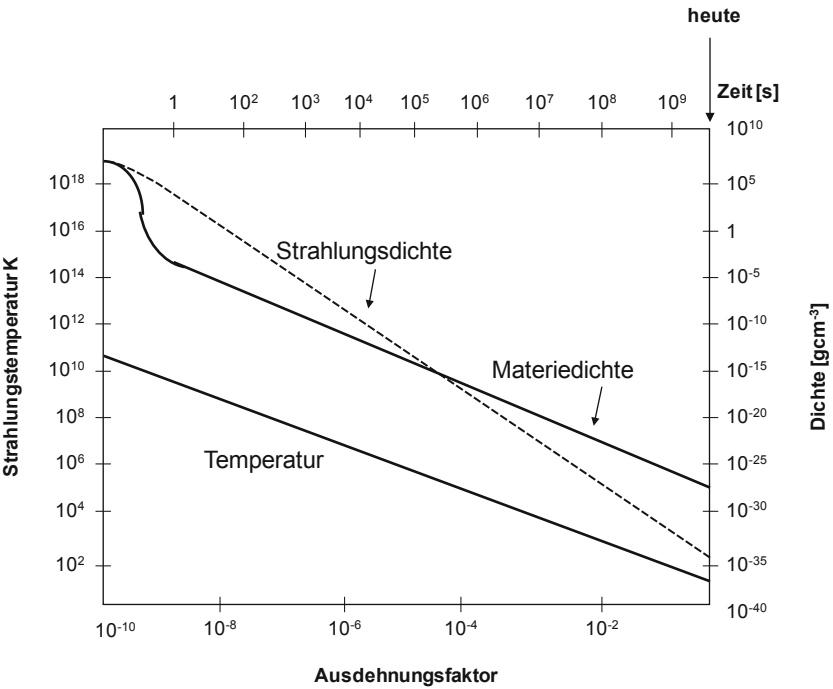


Abb. 2.1 Entwicklung des Kosmos nach dem Urknall

Zwischen 1000 s und 10^5 Jahren danach wurde das thermische Gleichgewicht gehalten durch einen kontinuierlichen Transfer von Strahlung in Materie, sowie permanenter Ionisationsprozesse und Atombildung. Gegen Ende fiel die Temperatur auf wenige tausend Grad. Das Universum wurde nun von Materie statt von Strahlung dominiert. Photonen waren nicht mehr so energiereich, um z. B. Wasserstoffatome permanent zu ionisieren.

Nachdem der Photonendruck verschwunden war, konnte die Kondensation der Materie in Sterne und Galaxien beginnen: zwischen 10^8 und 10^9 Jahre danach.

Wie aus den Eckdaten hervorgeht, sind Masse und Energie im Universum endlich – selbst unter Berücksichtigung der berühmten Einsteingleichung $E = mc^2$ steht uns damit nur ein begrenzter Energievorrat zur Verfügung. Und davon – das werden wir in den Folgeabschnitten sehen – ist wiederum nur eine Teil in nutzbare Energie umwandelbar. Bei den Umwandlungen – gleich welcher Art – wird dabei Energie entwertet, sodass der Anteil nutzbarer Energie stetig abnimmt.

Energie ist nicht erneuerbar
Eine Einführung in Thermodynamik,
Elektromagnetismus und Strömungsmechanik
Osterhage, W.
2014, X, 61 S. 22 Abb., Softcover
ISBN: 978-3-658-07634-4