

Was heißt das: Das Universum ist flach ?

Nachdem **Albert Einstein** 1915 seine **Allgemeine Relativitätstheorie** veröffentlicht hatte, versuchten außer ihm selbst eine ganze Reihe von Mathematikern und Physikern Lösungen seiner sehr komplexen Gleichungen zu finden. Dabei richtete sich das Interesse nicht nur auf räumlich begrenzte Objekte und Strahlungsfelder, sondern auch auf das Universum und dessen Geometrie als Ganzes. Daraus ergab sich, dass das (expandierende) Universum unter bestimmten vereinfachenden Annahmen (z. B. das Kosmologische Prinzip) grundsätzlich drei verschiedene Geometrien haben kann.

Wir lernen normalerweise in der Schule, dass ein Dreieck die Winkelsumme 180° hat. Dies gilt jedoch nicht überall, sondern nur, wenn das Dreieck in einem „**flachen**“, sog. **Euklidischen Raum** aufgespannt wird. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass sich zwei Parallelen im Unendlichen, also nie schneiden. Außer dieser euklidischen Geometrie gibt es aber auch noch andere Geometrien, nämlich die in gekrümmten Räumen, die als nicht-euklidisch bezeichnet werden. Man stelle sich z. B. Dreiecke auf einer Kugeloberfläche vor, dann haben diese immer eine Winkelsumme von mehr als 180° . Eine andere Geometrie würde sich auf einer sattelförmigen Oberfläche ergeben. In diesem Fall wäre die Winkelsumme kleiner als 180° . Aus den Einsteinschen Gleichungen geht nun hervor, dass auch das Universum selbst grundsätzlich eine dieser drei Geometrien haben muss, wobei man sich jedoch den dreidimensionalen Raum in einen 4-dimensionalen Hyperraum eingebettet denken muss. Einen solchen Hyperraum können wir uns allerdings nicht direkt vorstellen, sondern müssen dieses ganze Konstrukt um eine Dimension reduzieren. Das heißt, wir müssen uns unser dreidimensionales Universum als 2-dimensionale Oberfläche einer 3-dimensionalen geometrischen Figur vorstellen. Dann könnte der Weltraum eine der Geometrien haben, die in Abbildung 1 dargestellt sind.

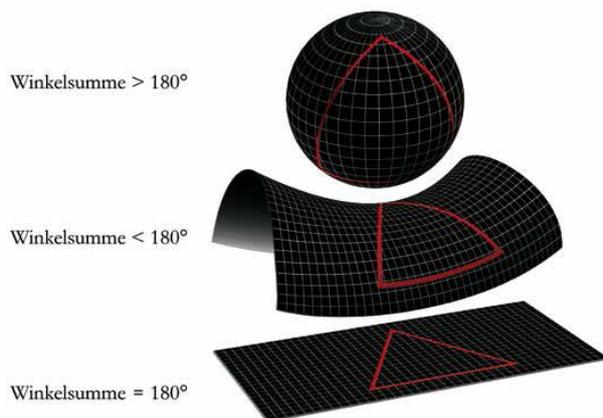


Abb. 1:
Geometrien. Von oben nach unten: elliptisch, hyperbolisch, flach.

Quelle: NASA/WMAP Science Team

Nun haben die Astrophysiker aufgrund geometrischer Betrachtungen des kosmischen Mikrowellenhintergrunds herausgefunden, dass unser Universum **flach** sein muss. Das ist dann der Fall, wenn wir quantitative markante Merkmale im Mikrowellenhintergrund (CMB, Abb. 2) finden, die wir heute unter dem gleichen Öffnungswinkel beobachten, unter dem sie ca. 380 000 Jahre nach dem Urknall in vergleichbarer Entfernung, also um den Expansionsfaktor 1100 des Universums, verringert erschienen wären. Genau dies haben die Astro-

physiker mit Hilfe einer besonderen Auswertung der winzigen Temperaturinhomogenitäten gegenüber dem Mittelwert von etwa 2,7 Kelvin als sogenanntes **Leistungsspektrum** (Abb. 3) im CMB beobachtet.

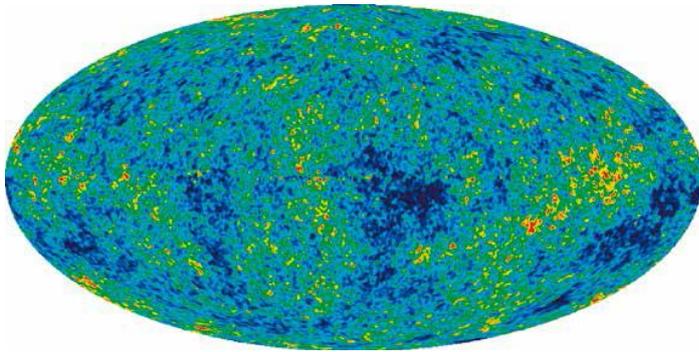


Abb. 2:
Der Mikrowellenhintergrund.
(WMAP)

Quelle: NASA/WMAP Science Team

Als markantes Kennzeichen im Leistungsspektrum ist die besondere Überhöhung der Amplitude bei 1° zu betrachten (siehe Abb. 3). Sie erscheint uns heute unter dem gleichen Winkel von 1° wie am Mikrowellenhintergrund vor rund 380 000 Jahren.

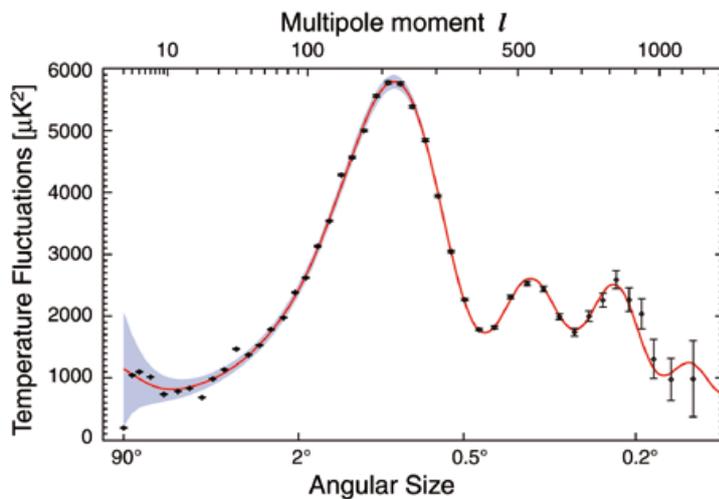


Abb. 3:
Das Leistungsspektrum

Quelle: NASA/WMAP Science Team

Demnach hat das Universum also eine euklidische Geometrie , das heißt: **Es ist flach.**

Peter Steffen