

# Gibt es einen Anfang der Welt?

Potsdam-Babelsberg, etwa 1984

Die Welt der Galaxien expandiert. Je weiter eine Galaxis von uns entfernt ist, desto größer ist ihre Geschwindigkeit. Fragen wir nach der Zeit, die der Entfernung bei der gemessenen Geschwindigkeit der Galaxien entspricht, so finden wir für alle Galaxien etwa denselben Wert, 20 Milliarden<sup>1</sup> Jahre. Hat vor 20 Milliarden Jahren eine „Explosion“ stattgefunden, nach der sich alle Bruchstücke entsprechend ihrer Geschwindigkeit voneinander entfernt haben? War das ein Anfang der Welt?

Der Kosmos ist eines der faszinierendsten Objekte der Physik. Wir versuchen, unsere Erkenntnisse — gewonnen an kosmisch kleinen Objekten, der Erde, dem Sonnensystem — auf den gesamten Kosmos auszuweiten. Der Kosmos als Ganzes wiederum ist selbst Voraussetzung und äußere Bedingung der Erkenntnis. Mechanistische Interpretation der Rechenergebnisse über das Verhalten des Kosmos führt deshalb zunächst zu sinnleeren Aussagen.

Warum können wir es überhaupt wagen, nicht nur über Objekte im Kosmos, sondern über das Ganze zu sprechen? Der Grund ist: Der Kosmos ist im Großen ganz einfach. Er ist gleichförmig mit Galaxien<sup>2</sup> gefüllt, er sieht in jeder Richtung gleich aus. Betrachten wir einen großen, aber räumlich begrenzten Ausschnitt des Kosmos, muß er sich wie ein isoliertes thermodynamisches System verhalten, das entsprechend dem inneren Druck bei der Expansion Energie verliert, aber im Mittel keine Wärme und keinen Inhalt mit der Umgebung austauscht. Solche Systeme sind aber seit der Erfindung der Dampfmaschine ausführlich erforscht. Und — wir können erstaunliche Schlüsse ziehen und durch astrophysikalische Beobachtungen bestätigen<sup>3</sup>.

An Stelle der großen Frage nach dem Anfang der Welt versuchen wir es zunächst mit der bescheideneren Frage, wie weit wir die Expansion in die Vergangenheit zurückverfolgen können. In der Vergangenheit müssen die Abstände im Universum kleiner gewesen sein, die Galaxien waren dichter beieinander, schließlich so dicht, daß sie als isolierbare Einheiten nicht existieren können. Der Kosmos war erfüllt von einem Gas, aus dem erst später die Galaxien kondensierten. Die Atome dieses Gases waren in noch fernerer Vergangenheit schließlich so dicht, daß auch sie als Einheiten nicht existieren konnten und Atomkerne und Elektronen ein Plasma aus geladenen Teilchen bildeten, das für Licht, für elektromagnetische Strahlung undurchsichtig war. Das Plasma war schließlich so dicht, daß die Atomkerne selbst nicht existieren konnten und das Plasma neben den Elektronen nur die einzelnen Kernteilchen enthalten haben kann. Bei weiterer Verdichtung müssen dann auch die Kernteilchen gleicher Familien ihre Unterschiede verloren haben, usf.

Sind diese Extrapolationen erlaubt? Kann man sie überprüfen? Verdichtung geht einher mit Temperaturerhöhung und Temperaturerhöhung schließt Strahlung ein. Vom Zeitpunkt, zu dem der Kosmos durchsichtig wurde, muß Strahlung übriggeblieben sein, die sich allerdings nicht nur verdünnt, sondern auch abgekühlt haben muß. 1965 wurde sie beiläufig gefunden. Sie hat heute eine Temperatur von nur 2.7 K. Das Maximum ihrer Energiedichte liegt im UHF-Bereich, bei einer Wellenlänge von 8 mm und einer Frequenz von 40 GHz. Sie kommt aus allen Richtungen, und ihre Temperatur ist aus all diesen Richtungen die gleiche. Diese „Mikrowellenhintergrundstrahlung“ beweist, daß die Expansion wenigstens bis zu einer Temperatur von 4000 K und der Expansionsfaktor auf 0.0007 des heutigen Werts zurückgerechnet werden kann. Sie zeigt darüberhinaus, daß der Kosmos zu diesem Zeitpunkt sehr gleichförmig war. Es ist sogar offen, ob wir in dieser Hintergrundstrahlung wenigstens die Keime der späteren Galaxien als Inhomogenitäten ausmachen können<sup>4</sup>.

Die Übergangsstelle zwischen dem heißen und dichten Kernteilchengas und dem kühleren (Temperatur kleiner als 1 Milliarde K) Wasserstoff-Helium-Plasma kann ebenfalls nachgerechnet werden. Als die Temperatur des Kernteilchengases auf 1 Milliarde K gesunken war, fand eine thermonukleare Reaktion statt, in der alle vorhandenen Neutronen mit Protonen in Heliumkernen gebunden wurden. So entstand ein universeller Heliumanteil von etwa 25% an der Gesamtmasse, den wir in allen kosmischen Objekten unabhängig von ihrem Alter beobachten<sup>5</sup>. Bei dieser Reaktion muß wegen der schnellen gleichzeitig stattfindenden Verdünnung und Abkühlung durch die Expansion etwas Deuterium — schwerer Wasserstoff — übrigbleiben, als Prozeßzwischenprodukt, das schließlich nicht mehr verbraucht worden ist. Sein berechneter Massenanteil ist nur ein

<sup>1</sup>Dieser Wert hat sich mit der immer genaueren Vermessung der Expansion immer wieder leicht geändert, heute (2006) würde man 15 Milliarden Jahre schreiben. Das genaue Alter spielt für den Ablauf der relevanten Prozesse nur selten eine große Rolle.

<sup>2</sup>Was gleichmäßig genau heißt, müsste hier dargestellt werden. Die Struktur der Galaxienverteilung ist homogen, würde man heute eher schreiben. Das Argument wird davon aber nicht berührt.

<sup>3</sup>*Bestätigen* ist ein zu starkes Wort. Es erinnert zu sehr an *beweisen*, und das kann eine Beobachtung oder ein Experiment prinzipiell nicht. Heute würde ich das Wort *stützen* vorziehen.

<sup>4</sup>Das ist inzwischen mit Nobelpreis-gekröntem Erfolg gelungen.

<sup>5</sup>So direkt allerdings nicht. Es gibt schon Unterschiede, die man aber mit begründbaren stellaren Prozessen entschuldigen kann.

Tausendstel Prozent. Dieser Anteil wird aber tatsächlich beobachtet. Aus den Sternen kann dieses Deuterium nicht stammen, weil diese wegen der Stationarität der Kernreaktion im Sterninnern kein Deuterium in dieser Menge übriglassen. Der Zeuge Deuterium bestätigt: Das Universum war einmal über eine Milliarde K heiß und alle Abstände betragen nur den milliardsten Teil ihres heutigen Werts. So weit dürfen wir also zurückrechnen.

Gibt es Zeugen von noch früheren, noch dichteren Zuständen des Kosmos? Hand in Hand mit der Elementarteilchenphysik ist die Astrophysik dabei, solche Zeugen zu identifizieren, zu finden und zu befragen. Es gibt Szenarien der extrem frühen kosmischen Entwicklung, die bis zu Zuständen zurückreichen, wo unsere Entfernung vom Andromedanebel unter die eines Atomkerns zusammengeschrumpft ist. Keines jedoch beantwortet unsere Ausgangsfrage: Was geschieht mit unseren Modellen, wenn wir dem Expansionsfaktor den Wert Null geben? Ist das der Anfang der Welt?

Rechnen wir unser theoretisches Modell der kosmischen Entwicklung zurück, können wir die Abstände wohl Null setzen. Die in den Naturgesetzen auftretenden Größen werden jedoch gerade in diesem Moment unberechenbar: Das Modell bricht zusammen. Die einzige Aussage der Rückrechnung ist für diesen Punkt, daß die Rückrechnung nicht durchführbar ist. Ohne überhaupt beobachten zu müssen, stellen wir den Mangel der Modelle fest. Drehen wir den Spieß um. Haben wir ein gültiges Modell, in dem wir physikalisches Geschehen berechnen können, dann ist uns mit der Bestimmung unmittelbar zukünftiger Entwicklung auch die Bestimmung unmittelbar vergangener Entwicklung möglich. Ein gültiges Modell kann keinen Endpunkt und auch keinen Anfangspunkt beschreiben.

Dieses Argument ist analog der Begründung, weshalb der Kosmos keine räumliche Berandung haben kann. Die Bewegungsgesetze des Speers vorausgesetzt, schrieb der römische Naturphilosoph Lucretius Carus, dann kann ich an jeder Stelle des Universums den Speer in jede Richtung weiterschleudern: Nie stehe ich am Rand der Welt. Für unser Problem heißt das: Wenn ein Modell des Universums auf räumliche oder zeitliche Ränder führt, dann ist an diesen Rändern das Modell zu Ende, nicht der Kosmos. Es gibt keinen Anfang des Kosmos<sup>6</sup>.

Dennoch hat der Kosmos seine Geschichte, so wie das Sonnensystem oder die Erde ihre Geschichte haben. Mit der Erforschung dieser Geschichte werden unsere Erkenntnisse über die Natur bis an die Grenze ihrer Gültigkeit getestet und ]ber diese Grenze hinaus weiterentwickelt.

---

<sup>6</sup>Heute würde ich schreiben, dass es wohl einen Anfang der Zeit gibt, und dass die Singularität andeutet, dass sie der Rand zwischen dem Bereich des Kosmos ist, in dem es eine Zeit, in dem es Entwicklung gibt, und dem Bereich, wo sich die Raum und Zeit nicht unterscheiden und es keine Entwicklung im üblichen Sinne gibt.