



## Kleine Geschichte der Urknalltheorie

1. Albert Einstein publizierte 1915 die Allgemeine Relativitätstheorie und begründet damit die theoretische Basis für ein expandierendes Weltall. Er ist jedoch zunächst von einem statischen Kosmos überzeugt und fügt daher in seine Feldgleichungen eine Konstante ein, die zu einer stationären Lösung führt. Nach 1930 soll er diesen Schritt als „die größte Eselei meines Lebens“ bezeichnet haben.
2. Schwarzschild findet 1916 die erste exakte Lösung dieser zehn Feldgleichungen. Sie beschreiben eine symmetrische, nicht rotierende massegefüllte Kugel.
3. Der Astronom Carl Wilhelm Wirtz stellt eine Rotverschiebung der Spektren bestimmter Nebel fest. Er wusste jedoch nicht, dass es sich um Galaxien außerhalb unserer Milchstraße handelt.
4. A. Friedmann berechnet 1922 die Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen ohne kosmologische Konstante  $\lambda$  und entdeckt, dass sie einem Kosmos entsprechen, der entweder ausgehend von einem Anfangspunkt ewig expandiert, zu einem Endpunkt hin kollabiert oder sowohl einen Anfangs- als auch einen Endpunkt hat. Er erweitert 1924 seine Aussagen mit positiven Werten von  $\lambda$ .
5. Edwin-Hubble weist nach, dass sich der Andromeda-Nebel weit außerhalb der Milchstraße befindet. Er entdeckt 1929, dass die Rotverschiebung der Galaxien proportional zu deren Entfernung zunimmt. Es ist das nach ihm benannte Hubble-Gesetz mit der Hubble-Konstante. Er erklärt diesen



Befund durch den Dopplereffekt als Folge einer Expansion des Kosmos. Einstein widerruft daraufhin seine kosmologische Konstante. Ende August 2018 wurde auf der Generalversammlung der Internationalen Astronomischen Union (IAU) in Wien vorgeschlagen das Hubble Gesetz in »Hubble-Lemaître-Gesetz« umzubenennen. Da aber, wie bei jeder neuen Erkenntnis, mehrere Vorläufer mitgewirkt haben, wurde die Umbenennung vertagt. Folgende Wissenschaftler haben Beiträge zur kosmischen Raumausdehnung geleistet: Albert Einstein und Alexander Friedmann schufen die theoretischen Grundlagen, weitere Astronomen lieferten Beiträge: Vesto Slipher, Milton Humason, Georges Lemâitre, Henrietta Swan Leavitt, entwickelte die Methode, wie man die Entfernung der Galaxien bestimmen konnte.

6. Der Priester und Astronom Georges-Lemaitre entwickelt 1933 eine erste Form einer Urknalltheorie, bei der das Universum mit einem einzigen Teilchen beginnt, das er das Ur-Ei nennt.
7. George-Gamow, Ralph-Alpher und Robert-Herman entwickeln 1948 eine Theorie von der Entstehung des Kosmos aus einem heißen Anfangszustand. Die Gamowsche Theorie setzt sich im Laufe der folgenden Jahre durch.
8. Fred Hoyle (1915–2001) entwickelt als Alternative zum Urknall eine Steady-State-Theorie (ewiger stationärer Kosmos), dessen Expansion überall von einer ständigen Entstehung neuer Materie begleitet ist, derart dass die Massendichte und die Struktur des Universums unverändert bleiben sollen. Er will damit erklären, dass der Kosmos möglicherweise jünger sei als manche Sterne darin.



9. Theorien, die nicht experimentell überprüfbar sind, haben kaum einen Wert.
10. 1965: Arno-Penzias und Robert-Woodrow-Wilson entdecken unbeabsichtigt die kosmische-Hintergrundstrahlung. Sie gilt als endgültiger Beweis für das Urknall-Modell.
11. Alan-Guth schlägt 1980 zur Beantwortung einiger kosmologischer Probleme eine Phase sehr schneller Expansion in der Frühphase des Kosmos vor. Die Theorie des inflationären Kosmos wird später von Andrei-D.-Linde und anderen weiter entwickelt.
12. Neue Entwicklungen in der Technologie von Teleskopen und Satelliten wie COBE (Cosmic Background Explorer) gestatten in den 1990er-Jahren eine präzisere Bestimmung von kosmologischen Parametern. Es mehren sich Hinweise auf eine Beschleunigung des expandierenden Kosmos.
13. Der Kosmos wird leider oft mit dem Universum gleichgesetzt. Gelegentlich wird von Multiversen gesprochen.

Der Satellit WMAP 2001 wird gestartet und vermisst erstmalig die räumliche und spektrale Verteilung der kosmischen Hintergrundstrahlung mit extremer Präzision. Daraus berechnen sich mehrere fundamentale kosmische Größen mit bisher unerreichter Genauigkeit:

Das Alter des Kosmos ist  $(13,799 \pm 0,021)$  Mrd. $\cdot(10^9)$  Jahre oder  $(4,354 \pm 0,007) \cdot 10^{10}$  Sekunden.

Der Zeitpunkt der Entkopplung von Strahlung nach dem Urknall ist 397.000 Jahre.

Die Hubble-Konstante: H ist 71 km/s\*MParsec



Die materielle Zusammensetzung des Kosmos:

4,4% Baryonische Materie,

22% Dunkle-Materie und

73% Dunkle-Energie (beruhend auf der kosmologischen Konstanten).

Damit bestätigen sich auch die Hinweise darauf, dass der Kosmos tatsächlich beschleunigt expandiert.



## Was ist Raum?

Den universellen Raum kann man nicht erzeugen, auch nicht vernichten. Wo immer ein Gegenstand, ein Masseteilchen mit oder ohne elektrische Ladung ist, oder ein Punkt fixiert werden kann, da gibt es ein Vorn und ein Hinten, ein Rechts oder Links, ein Oben und Unten. Bezogen auf uns selbst, ist das die Umgebung, die wir wahrnehmen, der unendlich ausgedehnte, ewige Raum. Was Raum ist, glauben wir alle aus unserer Erfahrung zu wissen, denn wir leben in ihm. Er ist eine Art offener oder geschlossener „Behälter“ für Materie und Felder. Materie ist alles, was mit Energie, bzw. mit Masse zu tun hat. Alle Erscheinungen und Vorgänge spielen sich in einem Raum ab. Seit Newton gibt es den unendlich ausgedehnten Raum, den wir als Universum bezeichnen wollen. Nach Albert Einstein folgt aus seiner Speziellen Relativitätstheorie (SRT), dass die Raumstruktur relativ, also von Beobachter und von der Geschwindigkeit eines Objektes abhängig ist. Nach Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie (ART, eigentlich eine Gravitationstheorie) und weiteren modernen Theorien, ist der kosmische Raum begrenzt. Das trifft für den eigentlichen universellen Raum aber offensichtlich nicht zu. Es gilt nur für die beobachtbare Raumkugel, die durch unseren Urknall im universellen unendlich ausgedehnten Raum entstanden ist, und über deren Rand wir durch die begrenzte Lichtgeschwindigkeit nicht hinaussehen können. Der Raum kann sich in großen Abmessungen theoretisch beliebig ausdehnen oder theoretisch auch schrumpfen. Gemessen wurde, dass er sich beschleunigt ausdehnt. Das führte zu der Theorie des Urknalls, ist aber sehr wahrscheinlich einfach eine Eigenschaft des Raumes, wie es die Eigenschaft des Lichtes ist, sich mit der konstanten Geschwindigkeit  $c$  im vorhandenen Raum auszubreiten. Handelt es sich bei Newton und Einstein wirklich um den gleichen Raum? Wir werden sehen, dass es in der Physik besser



wäre, verschiedene Räume je nach den Ereignissen zu unterscheiden und jedem Ereignis einen eigenen Raum zuzuordnen, wie wir es bereits für die Zeit, die Eigenzeit, gewohnt sind. Die Einsteinsche Relativitätstheorie beschreibt Raum und Zeit als untrennbar zusammengehöriges Kontinuum (vierdimensionales Minkowski-Raum-Zeit-Gebilde). Je mehr Masse ein Objekt besitzt, desto mehr krümmt es seinen umgebenden lokalen Raum und verlangsamt gleichzeitig den Zeitfluss. Wir können das mit dem Formalismus der Relativitätstheorie beschreiben, wissen aber nicht, warum das so ist. Aus Sicht eines externen Beobachters unterliegen schnelle bewegte Objekte einem langsameren Zeitfluss als weniger schnell bewegte. Die zahlreichen Erörterungen der Philosophie über den Begriff des Raumes nützen dem Physiker wenig. Obwohl wir im dreidimensionalen Raum leben, darin agieren und ihn mathematisch mittels Koordinaten gut beschreiben können, bleibt der Begriff Raum ein gewisses Mysterium. Raum ist stets außerhalb von uns. Neben dem dreidimensionalen Raum, in dem wir leben, kennen wir den zweidimensionalen Raum als Fläche, den eindimensionalen Raum als Strecke oder Linie und den nulldimensionalen Raum als mathematischen Punkt. Ein realer Punkt auf einer Fläche hat immer eine kleine flächenhafte bzw. räumliche Ausdehnung. Dass Raum und Zeit erst mit dem Urknall entstanden sein sollen, gilt heute immer noch als gültige, aber offenbar fragwürdige Lehrmeinung der Astrophysik. Diese These stammt von Stephen Hawking (1942 – 2018). Seine theoretische Behauptung hat sich bis heute als aktuelle Lehrmeinung erhalten. Vermutlich, weil von vielen unverstanden und nur rechnerisch geprüft – statt sich die Modell-Voraussetzungen mal richtig anzuschauen. Vor dem Urknall soll es das Nichts gegeben haben, manchmal auch als Nichtraumgebiet bezeichnet. Mathematisch beherrschen wir den dreidimensionalen Raum mit den Koordinaten



$(x, y, z)$  oder  $(a, b, c)$  oder  $(x_1, x_2, x_3)$  für ziemlich alle technischen Fragen hinreichend gut. In der vielfach bestätigten Speziellen (SRT) und Allgemeinen (ART) Relativitätstheorie wird die Zeit als vierte Dimension  $x_4 = ct$  im Minkowski-Kontinuum eingeführt. So entstand das vierdimensionale Raum-Zeit-Gebilde, das wir Kontinuum nennen. Wir leben zwar in unserer Umwelt, können aber Raum und Zeit mit unseren Sinnen gar nicht wahrnehmen. Man kann nur den Inhalt im Raum und den Zeitverlauf, die Veränderungen im Raum, wahrnehmen. Da wir im Allgemeinen vom Raum eine bessere reale Vorstellung haben als von der Zeit, tauschen wir in diesem Buch im Weiteren die Koordinaten um, und machen den realen Raum zu der reellen Größe und die Zeit zur imaginären Koordinate des vierdimensionalen Kontinuums. Für unser Verständnis erscheint uns das besser. Beides ist für die Beschreibung relativistischer Prozesse möglich, brauchbar und gleichberechtigt. Der universelle Raum und die ewige Zeit sind für uns einfach da. Anfangs sollte unser Kosmos aus dem Lamaitre'schen Ur-Ei entstanden sein. Heute ist es aus dem extrem kleinen Planck-Volumen entstanden, das wesentlich kleiner als ein Atomkern gewesen sein soll. Man ist dabei mathematisch sehr nahe an die Raum-Singularität herangerückt, die man bei der Modellierung der Vorgänge des Urknalls aber unbedingt vermeiden möchte. Die Theoretiker (vorwiegend die String-Theoretiker) rechnen gern mit mehreren Raumdimensionen. Davon sind die uns bekannten drei räumlichen Koordinaten vorstellbar. Alle weiteren Raum-Koordinaten sind nach diesen Theorien aufgerollt und so klein, dass man sie nicht wahrnehmen kann. In der klassischen Physik ist der Newtonsche Raum unbegrenzt und unendlich ausgehnt. Unendlich und Ewig können nicht noch größer werden. Da sich der Raum aber ausdehnt scheint es sinnvoll zu sein unterschiedliche Raum- und Zeitbegriffe einzuführen, die sich auf einzelne Er-



eignisse beziehen. Damit müssen wohl alle bisherigen Theorien als sogenannte Lokaltheorien eingestuft werden. Sie beschreiben lokale Ereignisse im Raum. Wie beschreiben wir denn rechnerisch einen Vorgang oder ein Ereignis, zum Beispiel einen Steinwurf? Wir definieren, ob bewusst oder unbewusst, einen Ort und eine Zeit als Rand- oder Anfangsbedingungen und berechnen die Wurfparabel. Wir haben also für diesen Prozess einen begrenzten Raum (Ort) und eine begrenzte Zeit (Dauer) verwendet. Wir haben Differenzen in einen hypothetischen vierdimensionalen Punkt (Raum und Zeit) benutzt, um ein Ereignis in einem definierten Raum und in einer definierten Zeit zu beschreiben. Das Ereignis hat also einen eigenen Ereignisraum und eine eigene Ereigniszeit (Eigenzeit) bekommen. Die Beschreibung dieses Ereignisses sagt nichts darüber aus, woher der Stein vor dem Wurf kam und sie sagt auch nichts darüber aus, was mit dem Stein nach dem Wurf passiert. Das ist Aufgabe einer ganz anderen Modell-Beschreibung. Worin unterscheidet sich der Steinwurf von dem Urknall im methodischen Herangehen der Beschreibungen? Wir müssen in beiden Fällen genau gleich vorgehen. Ereignisraum und Ereigniszeit sind meist unbewusst postulierte Begriffe. Sie sind Ausschnitte aus dem vierdimensionalen unendlichen und ewigen Kontinuum. In diesem Kontinuum spielen sich alle Ereignisse ab. Eine dreidimensionale Kugel mit dem Radius  $r$ , steckt dann in einer vierdimensionalen komplexen Kugel mit dem Radius  $s$ , die wir uns zwar nicht vorstellen können, mit der wir aber Berechnungen anstellen können (siehe weiter unten). Diese Berechnungen ergeben auch eine Ausdehnungsgeschwindigkeit  $v_r = dr/dt$  des dreidimensionalen Raumes und eine Ausdehnungsgeschwindigkeit  $v_s = ds/dt$  für das vierdimensionale Kontinuum, und deren Beschleunigung  $a_s = dv_s/dt = d^2s/dt^2$ . Damit dehnen sich beide, der dreidimensionale Raum und das vierdimensionale Kontinuum gleichermaßen





aus. Diese Raumausdehnungen sind aber lokal so winzig, dass wir sie nur im Kosmos in großen Entfernungen von uns nachweisen können. Die Raumausdehnung scheint eine Grundeigenschaft, womöglich ein Grundgesetz des Kontinuums und des dreidimensionalen Ereignisraumes zu sein, die wir mathematisch beschreiben können. Das ist ähnlich, wie die unerklärliche Erscheinung, dass eine Masse oder eine elektrische Ladung in ihrer Umgebung ein Feld aufbaut, damit eine Kraft ausübt und den Umgebungsraum krümmt. Dieses Feld, diese Kraft, diese Raumkrümmung können wir rechnerisch ganz gut beschreiben, wissen aber immer noch nicht, warum das so ist. Die eigentliche Ursache dieser Wirkung ist immer noch nicht geklärt. Wir wollen unsere Interpretation in diesem Buch präzisieren und postulieren:

**Jede Erscheinung, jedes Ereignis, die oder das wir beobachten oder mathematisch beschreiben, hat eine eigene Ereigniszeit und einen eigenen Ereignisraum.**

Wir beobachten also das Ereignis Urknall in unserem Kosmos und stellen experimentell fest, dass sich sein Ereignisraum nach dem erweiterten Hubble-Gesetz ausdehnt. Nach neuesten Erkenntnissen dehnt sich der beobachtbare Raum sogar beschleunigt aus, wie es das erweiterte Hubble-Gesetz beschreibt. Warum? Das versuchen Theoretiker mittels Kraftfelder oder Raumkrümmungen heraus zu finden. Dynamische Kräfte treten aber nur dann in Erscheinung, wenn Massen im Raum bewegt werden. Wir werden feststellen, dass sich der leere Raum offenbar ohne Krafteinwirkung auch ausdehnt. Dann ist die Raumausdehnung einfach eine Eigenschaft des Eigenraumes, vielleicht eine allgemeingültige Eigenschaft des isotropen, homogenen Raumes, wahrscheinlich sogar ein Grundgesetz. Unser beobachtbarer Kosmos ist offenbar nur ein begrenzter Raum-

und Zeit-Ausschnitt aus dem vierdimensionalen Kontinuum des großen Universums. Deshalb muss die These, dass der Urknall erst Raum und Zeit geschaffen hat, auf den Ereignisraum und die Ereigniszeit korrigiert werden. Der absolute unendliche Raum, den schon Newton (1643–1727) zu Grunde gelegt hatte, hat keinen Anfang und kein Ende. Er ist ohne Nullpunkt. Für jedes Ereignis brauchen und benutzen wir einen eigenen mathematisch definierten Raum. Wir haben dazu verschiedene Koordinatensysteme zur Verfügung. Für die größte Diagonale  $d$  eines Quaders, die Raumdiagonale, gilt:

$$d^2 = x^2 + y^2 + z^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = \sum x_i^2.$$

Gleichermaßen gilt für den Radius einer Kugel  $r$  im dreidimensionalen orthogonalen Raum:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = \sum x_i^2.$$

Dehnt sich die Kugel, so gilt für die Ausdehnungsgeschwindigkeit des Radius und seiner Koordinaten

$$v = dr/dt = (1/r)\sum x_i dx_i/dt.$$

Ist eine der  $x_i$ -Größen imaginär, so ist  $r$  bzw.  $d$  eine komplexe Größe. Die dreidimensionale euklidische rechtwinklige Koordinatendarstellung ist das einfachste und am weitesten verbreitete Koordinatensystem.

### **Der klassische Raumbegriff**

Newtons klassische Physik basiert auf dem unveränderlichen dreidimensionalen, unendlichen, isotropen, homogenen Raum und die stetig fließende separate Zeit. Beide, Raum und Zeit, sind in der klassischen Physik voneinander unabhängig. Dazu gibt es Erhaltungssätze der Energie und des Impulses sowie der Masse. (Der