

# DER URKNALL

Kurzbeschreibung und Literatur-Verweis  
Dipl-Physiker Dietmar Michalke

Die Urknalltheorie sagt aus, dass die gesamte Materie und Energie des Universums von einer einzigen Explosion herrühren. Am Anfang war dieses entstehende Universum praktisch in einem Punkt konzentriert und unvorstellbar heiß. Mit zunehmender Ausbreitung des Universums kühlte es sich ab. Dieser abfallende Temperaturverlauf war bestimmend für die Entwicklung des Universums, denn die Temperatur bestimmt die Energie der Strahlung und damit deren Fähigkeit Teilchen zu bilden.

Im 1. Kapitel wird zunächst der Ablauf des Urknalls beschrieben. Im 2. Kapitel werden die Begründungen zu den im 1. Kapitel aufgestellten Behauptungen behandelt.

## 1. Das Urknall- Szenario

Der Ablauf des Urknalls lässt sich in 8 Epochen (nach Fritsch) einteilen (siehe Bild 1),

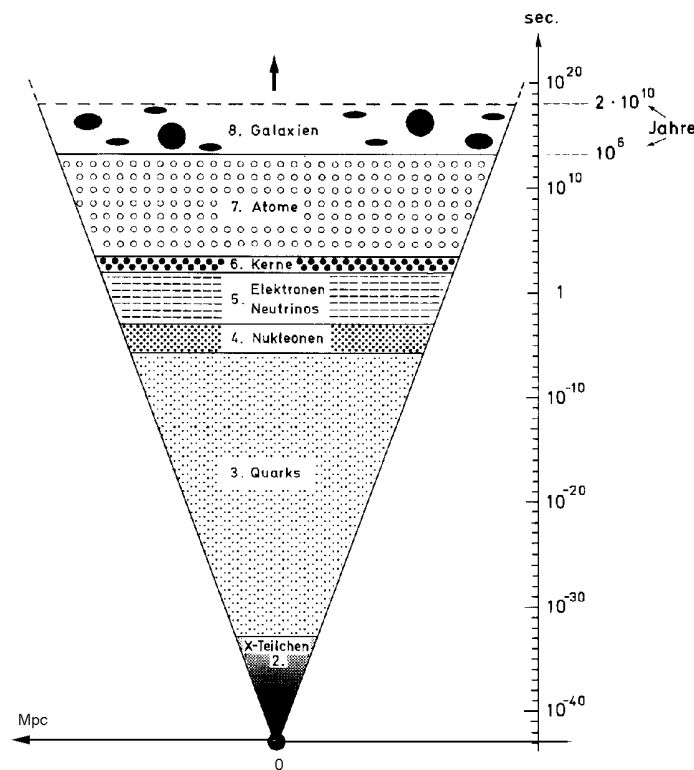


Bild 1: Die 8 Epochen des Universums vom Anfang (unten) bis heute (oben), wo es Galaxien gibt. Der sich

öffnende Trichter steht für die Expansion des Universums

### 1. Epoche : Entstehung des Raumes und der Zeit

$t < 10^{-36}$  sec (siehe Ref. [1] )

\* Eine mehrdimensionale Raumzeit könnte spontan in einem quantenmechanisch zu betrachtenden Vakuum entstanden sein, ähnlich der spontanen Teilchen-

Entstehung ([Vakuumfluktuation](#)).

- \* Die Raumkrümmung dieses kleinen Raumansatzes wirkt sich als Urkraft aus, deren Energiequanten sind die Urteilchen.
- \* Diese anfangs sehr kleine Raumzeit dehnt sich in vier Dimensionen aus. Auf Grund der Metrik erscheinen drei als räumliche und eine als zeitliche Dimension. Die übrigen Dimensionen verbleiben in der ursprünglichen mikroskopisch kleinen Ausdehnung.
- \* Durch die räumliche Ausdehnung wandelt sich die Urkraft: die Gravitation spaltet sich ab, kurz darauf die starke Wechselwirkung. Als dritte Wechselwirkung tritt vorübergehend eine abstoßende Kraft, die Gegengravitation, auf.

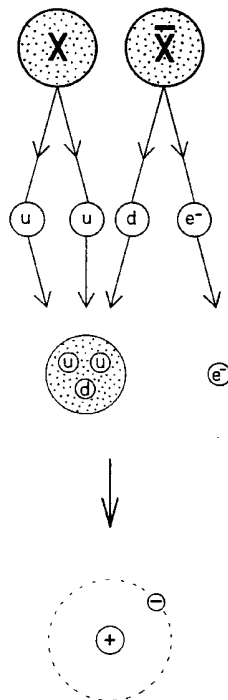
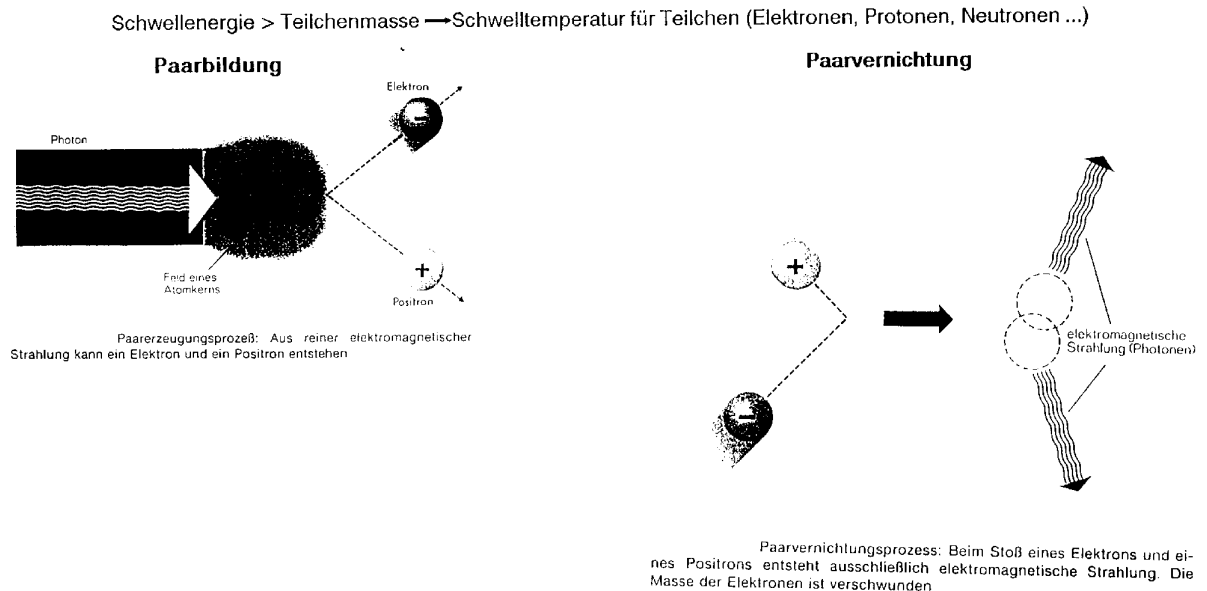
## **2. Epoche : Entstehung von Materie aus Energie**

$t < 10^{-11}$  sec (siehe Ref. [1] )

- \* Die abstoßende Kraft bewirkt eine besonders schnelle Ausdehnung, Inflation genannt.
- \* Die Energie, die den Betrag 0 haben kann, teilt sich unter Wahrung des Energieerhaltungssatzes in positive Anteile (Strahlung, Masse, abstoßende Kraft) und negative (Gravitation, alle anziehenden Kräfte) auf. Die positiven Energieanteile mit den sich ebenfalls wandelnden Urteilchen bewirken eine hohe Temperatur. Bei der abstoßenden Gegengravitation führt die Ausdehnung des Universums zu einem weiteren Anstieg der Temperatur, die den folgenden klassischen Urknall einleitet.
- \* Mit Ende der Inflations-Phase verharrt das Universum vorübergehend in seiner momentan tennisballgroßen Ausdehnung.
- \* Die abstoßende Gegengravitation verschwindet. Neben der Gravitation und der starken Wechselwirkung tritt jetzt die elektroschwache Wechselwirkung auf.
- \* Ebenso wie die Urkraft wandelt sich das Urteilchen - es nimmt unterschiedliche Zustände ein, in denen es aufgrund der mit der Ausdehnung des Universums fallenden Temperatur (seit Verschwinden der Gegengravitation) verharrt. So entstehen Photonen. Aus diesen Photonen können durch Paarbildung alle Teilchen nebst ihren Antiteilchen paarweise entstehen oder sich durch die ebenfalls stattfindende Paarvernichtung wieder in Photonen zurückverwandeln. (In dem Zusammenhang ist das Bild der Teilchen als 'eingefrorene Energie' passend.)  
(Siehe Ref. [2] und Bild 2).
- \* Auf diese Weise entstehen die X-Teilchen (nebst ihren Antiteilchen). Diese können in 2 u-Quarks, 1 d-Quark und 1 Elektron zerfallen. Ein entsprechender Zerfall tritt beim Anti-X-Teilchen auf. Auf diese Art entstehen Bausteine, aus denen sich später der Wasserstoff bildet (siehe Bild 3).
- \* Durch die sogenannte CP-Verletzung (sh. Ref. [ 3] ) entsteht bei diesem X-Teilchen-Zerfall ein Überschuß von Teilchen gegenüber den Antiteilchen von 1 auf  $10^9$  Teilchen. Zu dieser Zeit gibt es im Universum Photonen, Neutrinos, Quarks, Elektronen und X-Teilchen sowie deren Antiteilchen.
- \* Als letzte Umwandlung der Kräfte "spaltet" sich die elektroschwache Wech-

selwirkung auf in die elektromagnetische und die schwache Wechselwirkung (sh. Ref. [4 ]), die von da an mit der Gravitation und der starken Wechselwirkung die einzigen 4 Kräfte sind, auf denen sämtliche Erscheinungen der Physik beruhen.

## Bild 2: Umwandlung Strahlung / Materie



**Bild 3:** Die Umwandlung eines  $X\bar{X}$ -Paares in drei Quarks (uud) und ein Elektron. Der Zerfall dieses Teilchenpaares liefert damit zum Beispiel Wasserstoff, das den Hauptteil der Materie im Universum darstellt.

### **3. Epoche : Die Ära der Quarks**

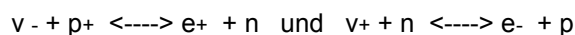
$t < 10^{-6}$  sec

- \* Die X-Teilchen zerfallen nun restlos in Quarks und Elektronen oder durch Paarvernichtung in Photonen. Neue X-Teilchen können nicht mehr entstehen, weil die Photonen wegen der gesunkenen Temperatur dazu nicht mehr genug Energie haben.
- \* Durch die Paarvernichtung entstehen Photonen in großer Zahl, die später die Hintergrundstrahlung bilden.
- \* Die Materie - bestehend aus Elektronen, Neutrinos und Quarks - hat jetzt den Überschuß von 1 auf  $10^9$  Teilchen gegenüber der Antimaterie.

### **4. Epoche : Die Ära der Nukleonen**

$t < 10^{-3}$  sec

- \* Die Energie der Photonen sinkt mit der Temperatur unter den Wert, der nötig ist, um Quark-Antiquark-Paare neu zu bilden. Die bestehenden Quarks und Antiquarks vernichten sich paarweise bis auf den Überschuß von 1 auf  $10^9$  Teilchen. Dieser Überschuß begründet die heutige Materie des Universums.
- \* Mit fallender Temperatur können die Quarks ihre Anziehung (starke Wechselwirkung nicht mehr überwinden:
  - 2 u-Quarks und 1 d-Quark schließen sich zu 1 Proton zusammen
  - 2 d-Quarks und 1 u-Quark schließen sich zu 1 Neutron zusammen
- \* Durch die schwache Wechselwirkung (Ref. [6] ) werden ständig Protonen in Neutronen umgewandelt und umgekehrt:



Da die Neutronen 1,3 MeV schwerer sind als die Protonen, verschieben sich mit fallender Temperatur diese Reaktionen zu Gunsten der Protonen. Es stellt sich ein Verhältnis von 75% Protonen zu 25% Neutronen ein.

- \* Strahlung und Materie (Photonen einerseits und Protonen, Neutronen, Elektronen, Positronen und Neutrinos andererseits) befinden sich trotz der Expansion des Universums im thermodynamischen Gleichgewicht. Das hat folgende Konsequenzen:
  - o Die Strahlung nimmt die Eigenschaften einer Schwarzkörperstrahlung, die eine Strahlung einer ganz charakteristischen Wellenlängen-Intensitäts-Verteilung ist, an. (Ref. [7])
  - o Der weitere Verlauf des Urknalls hängt nicht von der bisherigen Vorgeschichte ab, sondern ist nur noch eine Funktion der Temperatur und der vorliegenden Teilchen (Ref. [8] ).

### **5. Epoche : Elektron-Positron-Vernichtung**

$t < 100$  sec

- \* Die Energie der Photonen reicht nicht mehr aus, um Elektronen-Positronen-Paare zu erzeugen. Durch die Paarvernichtung werden die bestehenden vernichtet bis auf den Überschuß von 1 auf  $10^9$  Teilchen.

\* Entkopplung der Neutrinos:

Durch die Verdünnung der Materie wegen der Expansion endet die Streuung der schwach wechselwirkenden Neutrinos an der übrigen Materie.

## **6. Epoche : Entstehung von Atomkernen**

$t < 3,5 \text{ min}$

\* Mit der Temperatur sinkt die Energie der Nukleonen (=Neutronen, Protonen) so daß sie ihre Anziehung nicht mehr überwinden können. Protonen und Neutronen schließen sich zu Atomkernen zusammen. Dabei entstehen hauptsächlich das sehr stabile Helium  $\text{He}$ , Deuterium ( $\text{pn}$ ) und Kerne mit bis zu 8 Nukleonen. (Ref. [9] )

\* Die zu 25% vorliegenden Neutronen werden bei dieser Kernbildung rasch aufgebraucht, so daß einzelne der 75% Protonen (=Wasserstoff-Kern) übrigbleiben. Es stellt sich ein Verhältnis

77% H und 23 %  $\text{He}^4$  (und Sonstiges)

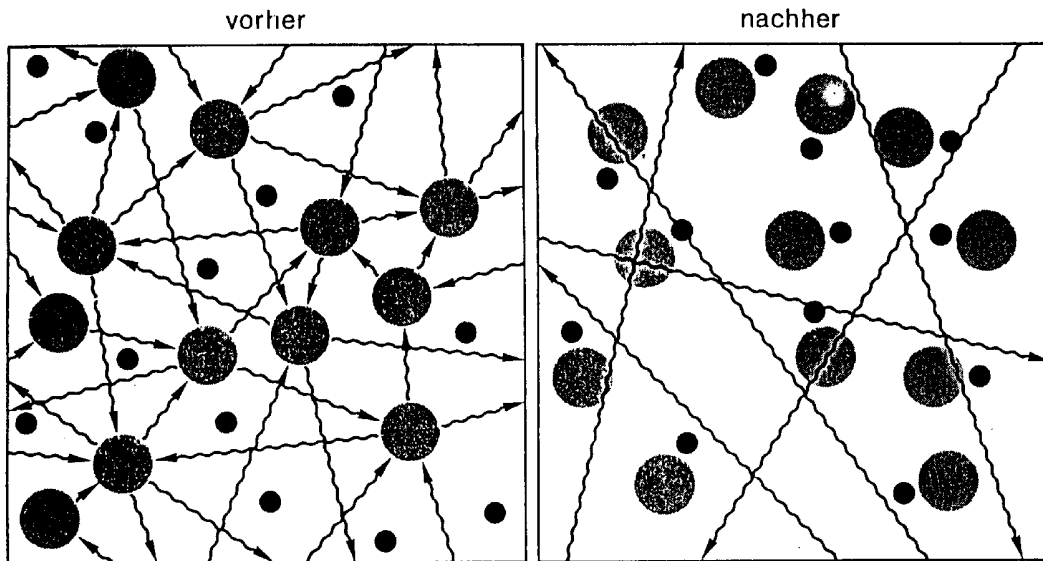
ein.

## **7. Epoche : Entstehung von Atomen**

$t = 300.000 \text{ Jahre}$

\* Mit fallender Temperatur können die Elektronen die elektromagnetische Wechselwirkung mit den Atomkernen nicht mehr überwinden und werden eingefangen - es bilden sich Atome.

\* Bisher wurden die Photonen an den ungebundenen Elektronen und den Atomkernen stark gestreut. Das Universum war dadurch "trübe". Die elektrisch neutralen Atome hingegen streuen die Photonen kaum noch. Sie werden frei das Universum "durchsichtig". Diese frei gewordene Strahlung bildet die kosmische Hintergrundstrahlung (siehe Bild 4). Sie wurde 1965 von Penzias und Wilson erstmals nachgewiesen. (Ref. [10] ).



**Bild 4:** Das folgenschwere Ereignis, das etwa 300 000 Jahre nach dem Urknall stattfand. Vorher (links) behinderten die Elektronen (graue Scheibchen) die Strahlungsquanten (gewellte Pfeile) in ihrer Ausbreitung. Jedes Quant konnte nur ein relativ kurzes Stück ungehindert fliegen, bis es wieder abgelenkt wurde. Danach (rechts) waren die Elektronen an die Protonen (dunkle Punkte) gebunden und behinderten die Strahlungsquanten nicht mehr – die Welt war durchsichtig geworden.

Diese Hintergrundstrahlung zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- o Sie ist eine Schwarzkörperstrahlung wegen des vorher herrschenden thermodynamischen Gleichgewichtes (siehe 4.Epoche)
- o Sie entspricht der Strahlung eines 3 ° Kelvin heißen (schwarzen) Körpers, da die Atombildung bei der Temperatur von 3000° K stattfand und die anschließende Rotverschiebung (wegen der Expansion des Universums) eine Wandlung der Strahlung zu 3°K bewirkte.
- o Sie ist isotrop, d.h. ihre Intensität ist richtungsunabhängig, da sie nicht von einer einzigen Quelle stammt, sondern von der überall im Universum etwa gleichzeitig stattfindenden Atombildung herrührt.

\* Mit dem Freiwerden der Photonen ist eine gewaltige Drucksenkung verbunden (um Faktor  $10^9$ ). Dadurch kann die atomare Materie beginnen, sich unter Einwirkung der Gravitation zu großen Strukturen zusammenzuballen (Ref. [11]).

## **8. Epoche : Die Ära der Strukturen**

t = 1 Mio Jahre bis heute

\* Durch die Zusammenballung der Materie entstehen zunächst Vorstufen von Galaxien, die Quasare. Etwa nach 2 Mrd. Jahren gibt es höhere materielle Strukturen wie Galaxien.

\* Die dichtesten Zusammenballungen führen zur Aufheizung der Materie, so daß term nukleare Reaktionen zünden: Die ersten Sterne entstehen. Bei diesen Reaktionen verschmelzen Wasserstoff-Kerne zu Helium und letztlich zu den schwereren Elementen. Die Elemente mit mehr als 8 Nukleonen entstehen nur durch Fusion in Sternen. Massereiche Sterne enden nach einigen Millionen Jahren in einer Supernova-Explosion, bei der die höheren Elemente

in den Raum geschleudert werden.

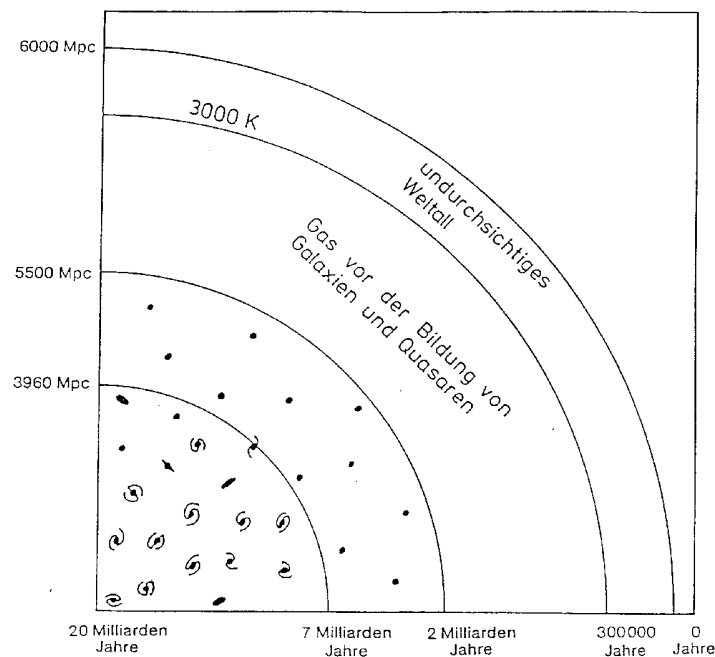
\* Dadurch können sich Planeten wie die Erde vor ca 4 Mrd. Jahren bilden, die im Gegensatz zur sonst im Universum herrschenden Elemente-Verteilung überwiegend aus schweren Elementen bestehen (Silizium, Eisen, Sauerstoff, Kohlenstoff usw.).

\* Erst einige Mrd. Jahre nach dem Urknall können aus den Atomen komplexe Molekularstrukturen entstehen, die Voraussetzung für die Entstehung von Leben und Intelligenz sind.

Die Erde mit ihren Lebewesen bis hin zum Menschen bestehen aus der "Asche" ausgebrannter Supernova-Sterne.

Ein Blick in den Weltraum zeigt die Abfolge der Ereignisse der 8. Epoche, da ein Blick in die Ferne auf Grund der endlichen Lichtgeschwindigkeit auch zugleich ein Blick in die Vergangenheit ist (siehe Bild 5).

Wir befinden uns ganz unten links in der Ecke des Bildes. Die Galaxien gruppieren sich um uns herum. Dahinter sehen wir eine Kugelschale von Quasaren - Galaxien im Geburtsstadium. Dahinter liegt eine Zone aus Gas im Zustand vor der Galaxienbildung gefolgt von einer undurchsichtigen (trüben) Sphäre - dem Weltraum der Bildung von Atomen mit seiner stark gestreuten Strahlung. Diese Struktur des Universums ist jedoch wegen des unterschiedlichen Alters des uns erreichenden Lichtes nur scheinbar. In Wirklichkeit sind im Weltall überall Galaxien vorhanden.



**Bild 5:** Der Anblick des Universums. Da das Licht, das uns aus den entferntesten Bereichen des Universums erreicht, auch das älteste ist, ist der Blick in die Ferne zugleich ein Blick in die Vergangenheit.

## 2. Stand des Nachweises des Urknall-Scenarios

### 2.1 Nachweis des Urknalls allgemein

#### - Beweiskette zur Expansion des Universums

\* 1. Aussage

Ein Universum, in dem die darin enthaltene Materie aufeinander eine Kraft ausübt, kann nicht zugleich endlich und statisch sein. (Ist es endlich, so gibt es ein Kraftzentrum, auf das sich die Materie zubewegt oder von der sie sich wegbewegt.) (Ref. [12] und [13] )

\* 2. Aussage

Das Universum ist endlich. Diese Aussage folgt aus der Allgemeinen Relativitäts-Theorie, die die Aussagen macht:

1. Das Universum ist ein in der 4. Dimension gekrümmter Raum endlichen Volumens (Ref. [16 ] und [17] )
2. Das Universum ist nicht statisch, d.h. es expandiert oder kontrahiert. (Ref. [13])
3. Die Raumkrümmung und der Expansionsverlauf sind miteinander gekoppelt. Sie hängen ab von der Gesamtmasse des Universums (deren Betrag jedoch nicht bekannt ist). Ref. [18]

\* 3. Aussage

Das Universum expandiert.

E.Hubble beobachtete als erster, daß die Spektrallinien von Licht entfernter Galaxien in den langwelligen ("roten") Bereich verschoben sind (Rotverschiebung siehe Ref. [19 ] und Bild 6). Ursache dieser Verschiebung ist die Fluchtbewegung der Galaxien, die nach dem Dopplereffekt zu einer Vergrößerung der Wellenlänge führt (Andere -vergebliche - Interpretations-Versuche sh. Ref. [20] ).

**- Die experimentellen Nachweise des Urknalls**

\* Kosmische Hintergrundstrahlung

Dicke und Gamow schlossen aus der Expansion des Universums auf einen Urknall (ein Expandieren des Universums von einem Punkt aus) und leiteten als beobachtbare Konsequenz die Existenz einer kosmischen Hintergrundstrahlung her (siehe Kap. 1 - 7.Epoche) mit einzigartigen Eigenschaften, die 1965 von Penzias und Wilson entdeckt wurde (siehe Ref. [7] , [21] , [22] , [23]).

\* Verteilung der Elemente im Universum

Aus der Annahme eines Urknalls folgt eine praktisch ortsunabhängige Verteilung von 77% Wasserstoff und 23% Helium (in Spuren auch Deuterium und andere leichte Kerne), während schwere Elemente nur in geringer Menge und im Bereich der Galaxien auftreten. Dieses wurde auch experimentell für die sichtbare Materie nachgewiesen (Ref.[ 7] und [ 24] ) .

**- Das Alter des Universums**

Das Alter des Universums läßt sich auf unterschiedliche Arten abschätzen und man kommt dabei zu konsistenten Aussagen:

1. Zurückrechnen der Expansion

Das ergibt ein Alter von 10 - 20 Mrd. Jahren. Genauere Werte sind wegen der unbekannten Gesamtmasse des Universums und Ungenauigkeiten bei der Entfernungsmessung nicht möglich (Ref.[ 7] ).

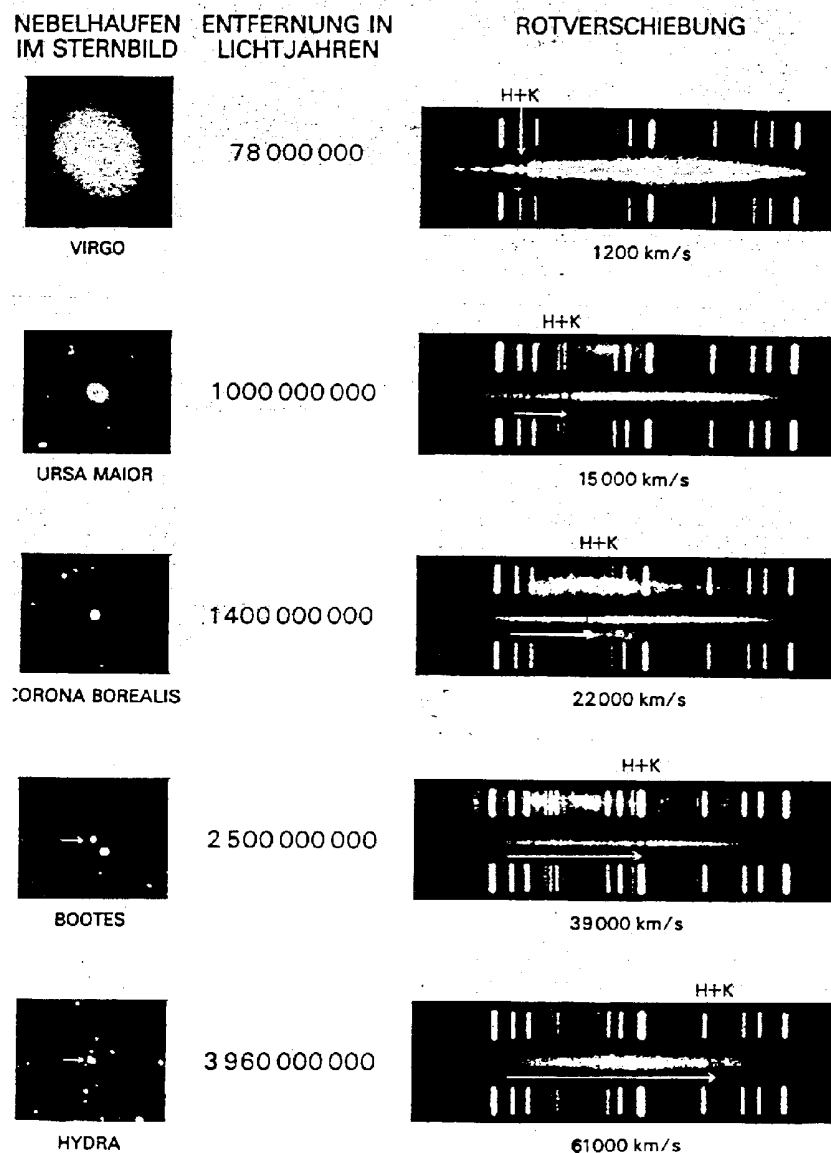
2. Alter von Uran und Uran-Isotopen

Über die Radioaktivität dieser Elemente läßt sich ihr Alter bestimmen. Die ältesten hatten ein Alter von 15 Mrd. Jahren. (Ref.[ 7] ) .

3. Alter von Sternen und Galaxien

Aus der Kenntnis der Sternenentwicklung kann man das Alter bestimmen. Die ältesten Sterne der Milchstraße sind 10-15 Mrd. Jahre alt.

Der älteste bekannte Quasar (mit der Bezeichnung PC 1158+4635) ist 18 Mrd. Jahre alt (Ref. [25] ).



**Bild 6:** Doppler-Effekt in extragalaktischen Nebelhaufen. Die Rotverschiebung der H u. K-Spektrallinien von Kalzium (jeweils dargestellt durch den weißen Pfeil) nimmt mit der Entfernung der Nebelhaufen zu, was die zunehmende Fluchtgeschwindigkeit beweist.

### - Urknall und Entropie

Nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik entwickeln sich geschlossene Systeme - von statistischen Schwankungen abgesehen - aus dem Zustand der Ordnung (genauer niedriger Entropie) in den Zustand der Unordnung (hoher Entropie).

Der Verlauf des Urknalls ist im Einklang mit dieser Forderung. Quelle der Entropie sind die

- o Zusammenballung der Materie zu Galaxien
- o Kernfusion von Wasserstoff zu höheren Elementen (bis hin zum Eisen mit der höchsten Entropie) in Sternen

(Ausführliche Diskussion siehe Ref.[31] und [34] ).

## 2.2 Nachweis der einzelnen Epochen

## - 1. Epoche

Die Aussagen zu dieser frühen Phase sind zwar plausibel aber spekulativ, weil

- \* die Quantenmechanik auf Objekte und Ereignisse, die kleiner als die

Plancksche Elementarlänge ( $1,6 \times 10^{-33}$  cm) und die  
Plancksche Elementarzeit ( $5,4 \times 10^{-44}$  sec)  
nicht anwendbar ist (Ref. [ 26] ).

- \* eine die Quantenmechanik und die allgemeine Relativitätstheorie umfassende Theorie, wie sie für kleinste Objekte mit großen Massen nötig wäre, nur in Ansätzen(von Stephen Hawkins) formuliert wurde (Ref. [26] ).

- \* zu der Abspaltung der Gravitation und der starken Wechselwirkung nur voneinander abweichende Theorien (Supergravitation genannt) existieren, die zwar schlüssig aber durch keine experimentellen Ergebnisse gestützt sind. Im Falle der starken Wechselwirkung ergäbe sich eine Klärung durch ein laufendes Experiment zum vorhergesagten Protonen-Zerfall (Ref. [27] und [28] ).

- \* Die spontane Entstehung des Raumes und der Zeit aus dem "Nichts" (genauer:

quantenmechanisches Vakuum) ist eine angenommene Analogie zur spontanen Teilchen-Entstehung ([Vakuumfluktuation](#)), bei denen das experimentell nachgewiesen und verstanden ist (Ref. [29] )

- \* Die Kräfte als Konsequenz der Raumkrümmung  
Im Falle der Gravitation wurde im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie bewiesen, daß diese Kraft die Wirkung der Krümmung in der 4. Dimension ist (Ref. [17]). Kaluza wies nach, daß es mathematisch möglich ist, sowohl die Gravitation als auch die elektromagnetische Wechselwirkung als Auswirkung einer Raumkrümmung herzuleiten. Er ging dabei von 5 Dimensionen aus (Ref. [30] ). In der modernen Theorien zur Vereinheitlichung der 4 Wechselwirkungen (zu einer Urkraft) werden alle Kräfte der Natur als Krümmung der Raum-Zeit-Struktur behandelt, für deren Mehrdimensionalität es noch andere tiefere mathematische und physikalische Gründe gibt (gute Darstellung Ref [32] ).

## - 2.Epoche

- \* Die Inflationstheorie, der zufolge in der 2.Epoche eine besonders schnelle Ausdehnung des jungen Universums stattgefunden hat, stützt sich auf die heutigen Vorstellungen zur Vereinheitlichung der 4 Wechselwirkungen. Zwar fehlt diesen für die Gravitation und die starke Wechselwirkung der experimentelle Nachweis,da dazu sehr hohe Energien und Temperaturen notwendig wären. Aber wie diese mathematisch schon erfolgreich war bei der Geometrisierung der 4 Wechselwirkungen, so liefert auch die Inflations-Theorie mögliche wissenschaftliche Erklärungen für viele Charakteristiken des Urknalls, die bis dahin ad hoc als Anfangsbedingungen eingeführt werden mußten (Ref. [1] , [33] , [35] ).

1. Das Horizont-Problem (oder: Warum war das frühe Universum so homogen?)  
Die kosmische Hintergrundstrahlung weist mit ihrer hohen Gleichförmigkeit auf eine ebenso hohe Homogenität des jungen Universums hin. Diese war unverständlich, da nicht erkennbar war, wie sich weit voneinander entfernte Bereiche aneinander angeglichen haben sollen.

Gemäß der Inflationstheorie verdünnten sich anfängliche Inhomogenitäten in Folge der raschen Ausdehnung und glichen sich vollends aus während des Verharrens der Ausdehnung am Ende der Inflationsphase.

## 2. Das Smoothness-Problem

Die normalen statistischen Dichteschwankungen der Atome in der 7. Epoche reichen allein nicht aus, um Galaxien innerhalb von 20 Mrd. Jahren entstehen zu lassen. Unregelmäßigkeiten als Keime späterer Galaxien müssen schon vor der 7. Epoche vorhanden gewesen sein.

Die Erklärung liegt im Ende der Inflationsphase begründet. Es geht einher mit dem Zerfall eines quantenmechanischen Zustandes (der das Ende der Gegengravitation und damit der Inflation einleitet), der die für quantenmechanische Phänomene typische räumliche und zeitliche Fluktuationen aufweist. Diese sind die gesuchten Unregelmäßigkeiten.

## 3. Das Flatness-Problem

Computersimulationen ergaben, daß die Expansionsrate des Universums nahe bei dem "kritischen Wert" liegt, bei dem es gerade seiner Gravitation entkommen und für alle Zeit expandieren kann. Ginge die Ausdehnung nur etwas langsamer vonstatten, so ergeben die Simulationen einen erneuten Kollaps des Universums, bevor es zur Galaxienbildung kommt. Wäre die Ausdehnung etwas schneller, so würde sich die Materie zerstreuen, ohne Galaxien zu bilden.

Die Inflationstheorie liefert eine Erklärung für diese Feineinstellung. Unabhängig von speziellen Anfangsbedingungen nimmt die Expansionsrate genau den "kritischen Wert" und damit zwangsläufig den zur Galaxienbildung richtigen Wert ein.

Wichtig ist, daß die Ergebnisse der Inflationsphase unabhängig von besonderen Anfangsbedingungen sind.

### \* Entstehung der X-Teilchen

Diese Teilchen sind Prognosen der "Grand Unified Theory" (GUT), die die Vereinigung der starken mit der elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung zum Gegenstand hat. Die X-Teilchen sind experimentell noch nicht bestätigt worden. Ihre Existenz würde jedoch einen selten stattfindenden Protonenzerfall verursachen. Laufende Experimente sollen diesen Zerfall und damit indirekt die X-Teilchen nachweisen (siehe Ref. [36] und [37]).

### \* Die Existenz von Quarks

Die Quarks wurden 1964 von Murray Gell-Mann und George Zweig anhand theoretischer Überlegungen vorhergesagt und erstmals durch zwei unterschiedliche Experimente nachgewiesen:

- o 1969 in Stanford (SLAC) durch Elektronenbeschuß von Protonen
- o 1970 bei CERN durch Neutrinobeschuß von Protonen und Neutronen (Ref. [3], [39])

### \* Die CP-Verletzung (Ref. [3])

Dieser Effekt wurde theoretisch und experimentell 1964 nachgewiesen. Dafür ging 1980 der Nobelpreis an James W. Cronin und Val Logsdon Fitch.

### \* Paarbildung und Paarvernichtung

Konform mit der Äquivalenz von Masse und Energie (Relativitätstheorie) können sich beliebige Teilchen-/Antiteilchen-Paare aus Photonen bilden. Als Umkehrung dieses Prozesses können sich Teilchen-/Antiteilchen paarweise vernichten zu Photonen. Vorgänge dieser Art sind in Beschleuniger-Anlagen physikalischer Alltag (Ref. [2]).

Sinkt mit der Expansion des Universums die Temperatur, so reicht die Energie der Photonen nicht mehr aus, energie- bzw. massereiche Teilchen nachzu-

erzeugen. Es findet dann für diese Teilchen nur noch die Paarvernichtung statt.

\* Elektroschwache Wechselwirkung

Das Bestreben, die 4 Wechselwirkungen zu einer zu vereinheitlichen, war erstmals erfolgreich im Falle der elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung.

Salem und Weinberg veröffentlichten 1969 ihre Theorie und zeigten,

- o daß die elektromagnetische und schwache Wechselwirkung mit zunehmender Temperatur sich ähnlicher werden bis sie ihre Unterschiede ganz verlieren
- o warum diese beiden Wechselwirkungen bei normaler Temperatur so verschieden sind
- o daß die Träger (Botenteilchen) der schwachen Wechselwirkung die sogenannten W- und Z-Quanten sind
- o den entscheidenden mathematischen Weg, der zur Vereinheitlichung zweier Wechselwirkungen führt (Symmetrie-Brechung). Damit gelangen dann auch die ersten Theorien zur Vereinheitlichung der starken Wechselwirkungen und der Gravitation.

Für diese Arbeit erhielten sie 1979 den Nobelpreis für Physik. 1983 wurde ihre Theorie mit der Entdeckung der W- und Z-Quanten bei CERN triumphal experimentell bestätigt (Ref. [4] ).

\* Die 4 Wechselwirkungen

Mit der letzten Abspaltung sind die 4 Wechselwirkungen (Gravitation, starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkung) entstanden, auf denen alle Aktivitäten der Natur beruhen. Dabei sind jedoch nur die Prozesse möglich, bei denen die Energie, der Impuls und die elektrische Ladung erhalten bleiben (es gibt unter speziellen Bedingungen weitere Erhaltungsgesetze, die aber nicht fundamental - weil ableitbar - sind).

Die Feldgleichungen der 4 Wechselwirkungen sowie die Erhaltungssätze sind das Fundament der Natur. Alle Phänomene (Thermodynamik, Optik, chemische Reaktionen usw.) sind "nur" mathematische Schlußfolgerungen dieser Feldgleichungen und Erhaltungssätze. Gäbe es weitere Wechselwirkungen, so wären bei ihrer Nicht-Berücksichtigung die Erhaltungssätze verletzt (Ref. [40] ).

### - 3. Epoche

Der Nachweis ist in der 2. Epoche enthalten.

### - 4. Epoche

\* Der Aufbau von Protonen und Neutronen

Deren Aufbau durch Quarks wurde zusammen mit den Quarks nachgewiesen (siehe 2.Epoche).

\* Die Verteilung von Protonen und Neutronen

Diese wird in der Diskussion der 6. Epoche mit den übrigen Elementen behandelt.

### - 5. Epoche

Paarweise Elektronen-/Positronen-Vernichtung siehe 2.Epoche.

### - 6. Epoche

\* Die Elemente im Universum lassen sich durch Spektralanalyse des Lichtes nachweisen. Dabei zeigt sich, daß

- o die leichten Elemente Wasserstoff, Helium und Deuterium gleichmäßig in dem von der Urknalltheorie vorhergesagten Verhältnis im Weltraum verteilt

sind

- o die Häufigkeit schwerer Elemente hingegen mit wachsender Entfernung von Galaxien-Zentren abnimmt
- Diese Verteilung zeigt, daß die leichten Elemente vor der Galaxienbildung und die schweren erst danach entstanden sind, so wie es gemäß Urknall sein muß. (Ausführlich Ref.[ 7]).

## - 7. Epoche

### \* Nachweis der Hintergrund-Strahlung

Diese Strahlung muß laut Urknalltheorie die einzigartigen Eigenschaften der Isotropie (Richtungsunabhängigkeit) und der Schwarzkörperstrahlung von rund 3° K haben.

#### o Nachweis der Isotropie

Der erfolgte erstmals durch Zyan-Moleküle (Ref. [ 7] , [ 41] ).

Zyanmoleküle verfügen über Energieniveaus, auf die die Elektronen ihrer Hülle durch Einwirkung der Hintergrund-Strahlung gehoben werden können. Schon 1937 fiel es Dunham und Adams auf, daß sich Zyanmoleküle im Kosmos nicht im Grundzustand sondern in diesem angeregten Zustand befanden. Zwecks Nachweis der Hintergrundstrahlung wurden zunächst 8 weit auseinanderliegende Gasnebel untersucht. Ausnahmslos in allen Fällen befanden sich die Zyan-Moleküle in dem besagten Anregungszustand. Seit dem wurde die Isotropie mit Zyan-Molekülen nachgemessen und nachgewiesen, daß sie mit einer Gleichförmigkeit von besser als 1:10000 erfüllt ist.

Ein weiterer Nachweis auf ganz andere Art erfolgte durch den Forschungs-Satelliten COBE (siehe unten).

#### o Nachweis des Schwarzkörper-Charakters (Ref [ 7] und [45])

Die 3° K-Schwarzkörperstrahlung ist durch eine ganz bestimmte Wellenlängen-Intensitäts-Verteilung gekennzeichnet. Zuletzt wurde diese durch zwei Experimente mit hoher Genauigkeit nachgemessen:

##### 1. durch den Satelliten COBE (Cosmic Background Explorer) im Jahre 1989

Die kosmische Hintergrund-Strahlung wurde außerhalb des Störeinflusses der Erdatmosphäre genau vermessen und es wurde damit nachgewiesen, daß sich die Hintergrundstrahlung um weniger als 1% von dem eines schwarzen Körpers unterscheidet.

##### 2. durch das Raketen-Experiment COBRA im Jahre 1990

COBRA war eine Verfeinerung des COBE-Experimentes und bestätigte dessen Ergebnisse.

Zitat aus Ref. [45] : So zeigten die Daten des amerikanischen Forschungssatelliten COBE ..., daß diese Strahlung wirklich mit vollkommen gleichmäßiger Intensität aus allen Richtungen bei uns ankommt. Da sie gewissermaßen das Nachglühen des Urknalls ist, lassen die Daten keinen Zweifel mehr an der Urknall-Theorie über den Ursprung des Kosmos.

## - 8. Epoche

### \* Der Prozeß der Galaxienbildung

Der genaue Hergang der Galaxienbildung ist noch nicht endgültig geklärt. Der Grund liegt darin, daß die Gesamtmasse des Universums unbekannt ist.

Zwar läßt sich die Masse der leuchtenden Materie anhand der Helligkeit ausrechnen. Es ist aber bekannt, daß diese leuchtende Materie oftmals nur einen kleinen Teil der gesamten Materie ausmacht und dunkle Formen existiert:

#### o Der Zwergnebel DDO 154 (Ref. [42] )

Die Rotationsgeschwindigkeit konnte gemessen und daraus die Masse errechnet werden. Sie war zwölfmal größer, als die aufgrund der Leuchtkraft bestimmten.

#### o Der Comahaufen wurde auf die gleiche Weise untersucht und festgestellt,

daß die leuchtende Masse nur 10% der gesamten beträgt (Ref. [43]) .

Die Galaxien und Galaxienhaufen bewegen sich so, als wären sie von großen Materieansammlungen umgeben, so als wären die leuchtenden Galaxien nur die Spitze des Eisberges (Ref. [44]) .

"Kandidaten" für die dunkle Materie können sein:

- o Kosmischer Staub (Wasserstoff und Helium), der sich noch nicht zu Sternen zusammengeballt hat. Bei ESO wurde nachgewiesen, daß insbesondere Spiralgalaxien im Bereich der Spiralarme diese dunkle Materie haben.
- o Ausgebrannte Sterne wie weiße Zwerge, Neutronensterne und Schwarze Löcher
- o Neutrinos ; von diesen schwach mit anderer Materie wechselwirkenden Teilchen kann man zur Zeit nur sagen, daß ihre Masse nicht größer als 20 MeV sein kann (Rev. [43] ). Da die Neutrinos im Universum aber sehr zahlreich sind, würde eine so kleine Masse dazu führen, daß der größte Teile der Gesamtmasse des Universums in den Neutrinos steckt (Ref. [46] ).

Ungeklärt ist bei der Galaxienbildung bisher, wie das heutige recht klumpige Universum sich aus einem zum Zeitpunkt der Atombildung (7.Epoche) gleichförmigen Zustand heraus gebildet hat. Riesige Galaxien-Ansammlungen wie die Große Wand (1.500 Mio LJ lang, 600 Mio LJ breit und 50 Mio LJ dick) existieren neben großen Blasen, die keine leuchtende Materie enthalten. Wären die riesigen Galaxien-Ansammlungen erst in der 7. Epoche dadurch entstanden, daß die großen Blasen "leergefegt" worden wären, so hätte die Zeit nach dem Urknall bei weitem nicht dazu ausgereicht (Ref. [47] ). Als Erklärung solcher großen Strukturen kommen u.a. die folgenden 3 in Frage:

- o Annahme: Die Neutrinos haben eine Masse

Dann begannen die Neutrinos bereits in der 5.Epoche, nach ihrer Entkopplung von Materie und Strahlung, mit der Zusammenballung, die später die Kondensations-Keime zur Galaxienbildung waren. Dieser Prozeß würde sich nicht als Inhomogenität in der kosmischen Hintergrund-Strahlung bemerkbar machen, da sich diese erst später durch die homogen verteilten - da durch den hohen Strahlungsdruck am Zusammenballen gehinderte - Atomkerne (siehe 7. Epoche) bildete (Ref. [49] ).

- o Annahme: Die Inflations-Theorie trifft zu

Wie mit dem "Smoothness-Problem" (siehe 2.Epoche) beschrieben bewirken quantenmechanische Effekte Unregelmäßigkeiten, die sich bildende Materie übertragen würden. Trifft das zu, so müssen in der kosmischen Hintergrundstrahlung in diesem Fall ebenfalls kleine Unregelmäßigkeiten vorhanden sein. Eine Wiederholung der Experimente COBE und COBRA mit höherer Genauigkeit könnte den Nachweis bringen (Ref.[ 7] ).

Nachtrag: Verbesserte Messungen, die bis 1992 mit COBE durchgeführt wurden, wiesen diese Unregelmäßigkeiten in der Hintergrundstrahlung nach!! (Ref. [50])

- o Annahme: Die großen Blasen sind nicht leer

Sie enthalten dunkle Materie. Die Galaxienhaufen hätten sich dann an den Rändern der Blasen durch Kondensation gebildet: erste zufällige Schwankungen führten zu ersten Sternen. Dadurch bildeten sich in deren Umgebung weitere Dichte-Schwankungen, die weitere Sterne nach sich zogen, so daß sich auf die Art große Galaxien-Ansammlungen bildeten, ohne jedoch die Blasen zu leeren (Ref. [48] ).

Wie oben gezeigt wurde (DDO 154, COMA), ist die dunkle Materie in der Nähe leuchtender Materie nachgewiesen. Fernab von dieser ist der Nachweis schwierig und steht noch aus

\* Expansion und Kontraktion des Universums

Ebenfalls wegen der unbekannten Gesamtmasse bzw. Dichte des Universums ist

derzeitig nicht entschieden, ob der Kosmos

1. ständig expandieren wird
2. durch die Gravitation der eigenen Masse abgebremst wird und dann wieder in sich zusammenfällt
3. zwar die Expansions-Bewegung zum Stillstand kommt, ohne jedoch wieder zu in sich zusammenzustürzen.

Welcher der drei Fälle eintritt hängt davon ab, ob die Masse-Dichte kleiner, größer oder gleich der "kritischen Dichte" von  $10^{-30} \text{ g/cm}^3$  ist.

Die derzeitig nachgewiesene Materie ist weit von diesem Wert entfernt und spricht für den 1. Fall. Die Inflations-Theorie sagt den Fall 3 voraus und impliziert damit eine rund zehnmal größere Masse als die der sichtbaren Materie (siehe "Flatness Problem" 2.Epoche).

### Literatur-Verweise

- [1 ] Paul Davies: Die Urkraft, S.252-258
- [2 ] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.213 ff
- [3 ] Isaac Asimov: Die exakten Geheimnisse unserer Welt - Kosmos ..., S.333
- [4 ] Paul Davies: Die Urkraft, S.159-162
- [5 ] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S 167
- [6 ] Paul Davies: Die Urkraft, S.156
- [7 ] Joseph Silk: Beweise für den Urknall, Zeitschrift 'Sterne und Weltraum' 1/1991 S.26 ff
- [8 ] Steven Weinberg: Die ersten drei Minuten, S.94 mitte
- [9 ] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.272 ff
- [10] Rudolph Kippenhahn: Licht vom Rande der Welt, S.300-302
- [11] Steven Weinberg: Die ersten drei Minuten, S.115
- [12] Steven Weinberg: Die ersten drei Minuten, S.59 mitte
- [13] Hoimar v. Dittfurth: Im Anfang war der Wasserstoff, S.33 - 35
- [16] Hoimar v. Dittfurth: Im Anfang war der Wasserstoff, S.31
- [17] Stephen Hawking: Eine kurze Geschichte der Zeit, S.47 - 52
- [18] Rudolph Kippenhahn: Licht vom Rande der Welt, S.178 - 194
- [19] Stephen Weinberg: Die ersten drei Minuten, S.38-56
- [20] Rudolph Kippenhahn: Licht vom Rande der Welt, S.150 - 152
- [21] Rudolph Kippenhahn: Licht vom Rande der Welt, S.290 - 295
- [22] Hoimar v. Dittfurth: Im Anfang war der Wasserstoff, S.38 - 39
- [23] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.257-264
- [24] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, 272-274
- [25] Rudolph Kippenhahn: Licht vom Rande der Welt, S.312
- [26] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.125-127
- [27] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.201-212
- [28] Paul Davies: Die Urkraft, S.177-180
- [29] Paul Davies: Die Urkraft, S.263-271
- [30] Paul Davies: Die Urkraft, S.196-197 u. 206-207
- [31] Paul Davies: Gott und die moderne Physik, S.79 u. 228-233
- [32] Paul Davies: Die Urkraft, S.208-216
- [33] Paul Davies: Die Urkraft, S.259-271
- [34] Paul Davies: Die Urkraft, S.295-304 u. 242-246
- [35] Joseph Silk: Der Urknall, S.131-135
- [36] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.196-212
- [37] Paul Davies: Die Urkraft, S.170-176
- [38] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.161-191
- [39] Paul Davies: Die Urkraft, S.117 ff
- [40] Paul Davies: Die Urkraft, S.93-106, insb. 95 o

- [41] Hoimar v. Ditfurth: Im Anfang war der Wasserstoff, S.39 m
- [42] Bild der Wissenschaft Nr.?, S.16: Unsichtbare Galaxien
- [43] Harald Fritzsch: Vom Urknall zum Zerfall, S.290-291
- [44] Rudolph Kippenhahn: Licht vom Rande der Welt, S.214 ff
- [45] Bild der Wissenschaft 12/90 S.124: 'Klumpiges Universum'
- [46] Joseph Silk: Der Urknall, S.237---246
- [47] Bild der Wissenschaft 7/90 S.14-19: 'Kosmischer Schaum'
- [48] Joseph Silk: Der Urknall, S.252
- [49] Bild der Wissenschaft 5/91 S.57: 'Der große Attraktor'
- [50] Bild der Wissenschaft 9/92 S.48-65: 'Der Urknall fand doch statt'