



### Präsentationen der Professoren

[Unser Universum ①](#)

### Weitere interessante Infos

[Astrokramkiste ↗](#)

### Inhalt

Überblick.....	1
Entstehung .....	2
Kosmische Hintergrundstrahlung .....	3
Ausdehnung des Universums.....	4
Weiterentwicklung.....	5
Dunkle Materie .....	6

## Überblick

Unser Universum besteht zum Großteil (mehr als 68%) aus dunkler Energie. Das ist die Energie, die dafür verantwortlich ist, dass sich das Universum ausdehnt. Den zweitgrößten Teil (fast 27%) stellt die dunkle Materie. Das ist Materie, die für uns nicht wahrnehmbar ist. Wir kennen sie nur aufgrund ihrer gravitativen Wechselwirkungen. Nicht einmal 5% sind baryonische Materie, also die Materie, die auch wir wahrnehmen können.

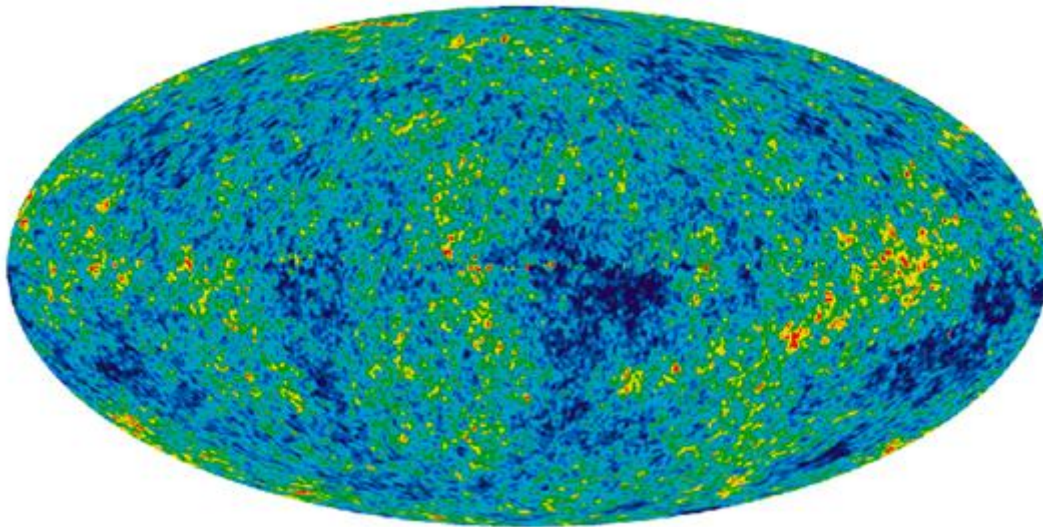
## Entstehung

Nach der gängigen Theorie war am Anfang der Urknall. Mit dem Urknall sind sowohl die Zeit, als auch der Raum, entstanden. Vor dem Urknall hat nichts existiert, auch nicht ein Vakuum. Nicht einmal der Raum selber. Direkt nach dem Urknall war das gesamte Universum ganz heiß und verdichtet. Durch die plötzliche Ausdehnung existierte immer mehr Platz auf den sich die Materie und die Energie verteilen konnten. Die Entwicklung des Universums ist stark von der dunklen Materie abhängig. Die Turbulenzen in der normalen Materie können nur durch jene in der dunklen Materie verursacht werden. Ohne dunkle Materie hätte sich das Material im Universum ganz gleichmäßig verteilt und es hätte nie zur Bildung von Galaxien kommen können. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind alle Konstanten, wie zum Beispiel die Gravitationskonstante, die Verteilung von Materie im Universum etc. Wäre nur eine dieser Größen nur minimal anders gewesen, hätte sich das massiv auf die Entwicklung des Universums ausgewirkt und es wäre für Leben, wie wir es kennen, nicht bewohnbar.

Um die ungeheuren Zeitmaße, in denen das Universum entstanden ist, anschaulicher darzustellen, wird nachstehend die Entstehung in einen Tag aufgegliedert (Idee dazu von Ben Moore)

<b>Zeit (tatsächlich)</b>	<b>Zeit (anschaulich)</b>	<b>Ereignis</b>
$1,4 \times 10^{10}$ v. Chr.	00:00:00	Urknall
$1,4 \times 10^{10}$ v. Chr.	00:02:37	Entstehung der kosmischen Hintergrundstrahlung
$1,4 \times 10^{10}$ v. Chr.	00:05:00	Entstehung der Dunkle-Materie-Halos
$1,4 \times 10^{10}$ v. Chr.	00:20:00	Entstehung des ersten Sterns
$1,4 \times 10^{10}$ v. Chr.	01:00:00	Entstehung der ersten Galaxie
$1,4 \times 10^{10}$ v. Chr.	09:00:00	Entstehung der Milchstraße
$4,7 \times 10^9$ v. Chr.	16:00:00	Entstehung unserer Sonne
$4,6 \times 10^9$ v. Chr.	16:00:01	Entstehung unseres Sonnensystems
$4,5 \times 10^9$ v. Chr.	16:15:00	Entstehung unseres Mondes
$4 \times 10^9$ v. Chr.	17:30:00	Entstehung der ersten Lebewesen auf der Erde
$7,5 \times 10^8$ v. Chr.	19:50:00	Entstehung des Sauerstoffs in der Erdatmosphäre
$2,8 \times 10^5$ v. Chr.	23:59:59	Entstehung des Homo sapiens

## Kosmische Hintergrundstrahlung



**Abb.11.1.: Die Kosmische Hintergrundstrahlung**

Ein wichtiger Beleg für die Urknalltheorie ist die kosmische Hintergrundstrahlung. Sie ist quasi ein Nachhallen des Urknalls. Die kosmische Hintergrundstrahlung ist fast ganz gleichmäßig, die Temperaturunterschiede betragen nicht einmal 1K. In der oberen Grafik sind die kühleren Stellen der kosmischen Hintergrundstrahlung blau und die wärmeren Stellen rot eingezeichnet. Aus den minimalen Temperaturunterschieden kann man einiges über das damalige Universum aussagen, zum Beispiel wie die Quanten früher aufgebaut waren. Die Quanten sind die Grundbausteine des Universums und man vermutet, dass sich die Eigenschaften der Quanten seit der Entstehung des Universums verändert haben. Um mehr darüber herauszufinden, versucht man mittels Satellitenmessungen die Genauigkeit der Messung der kosmischen Hintergrundstrahlung zu verbessern.

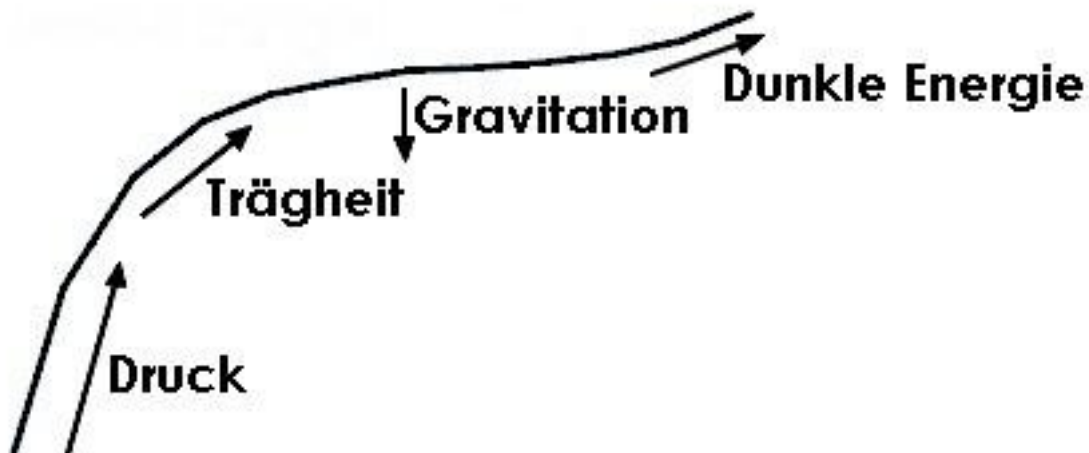
[Mehr über die Quantenmechanik im Physiksriptum ab Seite 169](#) 

Die Messung der kosmischen Hintergrundstrahlung unterscheidet sich nicht von der Messung der normalen Strahlung. Tatsächlich wurde die kosmische Hintergrundstrahlung anfangs durch Zufall gemessen, als die Entdecker (Arno Penzias und Robert Wilson) eigentlich eine ganz normale Strahlung messen wollten. Der Hauptunterschied zur normalen Strahlung, wodurch die kosmische Hintergrundstrahlung auch erkannt wurde, war, dass sie von allen Seiten gleichermaßen kam. Schließlich ist beim Urknall ja auch der gesamte Raum entstanden, weshalb auch der gesamte Raum nachbeben musste. Nachdem alle Fehlerquellen am Teleskop ausgeschlossen werden konnten, wurde klar, dass es sich um einen Nachhall vom Urknall handeln musste.

Durch Turbulenzen in und Streuung an der Materie kann sich die Hintergrundstrahlung seitdem leicht verändert haben, aber das rechnet man mit der Gauß'schen Wahrscheinlichkeitsverteilung heraus. Aufgrund der großen Zeitspanne, seit der das Universum da ist, ist die Gauß'sche Wahrscheinlichkeitsverteilung sehr genau und man kann damit die Fehler recht gut herausrechnen.

[Mehr über die Gauß'sche Fehlerverteilung im Rechenmethodensript ab Seite 151](#) 

## Ausdehnung des Universums



**Abb.11.2.: Die Ausdehnung des Universums und die beteiligten Kräfte**

Seit dem Beginn des Universums, dehnt es sich unaufhaltsam aus. Die Gründe dafür und die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Universums waren während der Geschichte des Universums sehr unterschiedlich.

Am Anfang war die Ausdehnung ganz besonders stark: Durch den Druck der zusammengepressten Materie wurde das Universum mit einer ungeheuren Geschwindigkeit auseinandergezogen. Als die Teilchen so weit auseinander waren, dass sie keinen Druck mehr auf die Grenzen des Universum ausübten, weil sie innerhalb des Universums genug Platz hatten sich auszubreiten, setzte sich die Ausdehnung des Universums aufgrund seiner Trägheit fort, wurde jedoch aufgrund der Gravitation, die in die Gegenrichtung wirkt, immer langsamer. Vor 5 Milliarden Jahren war das Universum so groß, dass sich seither noch eine weitere Kraft auf die Ausdehnung des Universums auswirkt: Die dunkle Energie. Die dunkle Energie funktioniert genau umgekehrt wie der Druck: Je weiter sich die Materie ausdehnt, desto stärker wird die dunkle Energie. Dadurch wird die Ausdehnung des Universums wieder schneller.

Die Ausdehnung des Universums hat man durch Entfernungsmessungen, sowohl mittels Supernovae als Standardkerzen, als auch mittels Rotverschiebung nachgewiesen. Zuerst nahm man an, dass die Ausdehnung des Universums konstant sei. Albert Einstein hat für diese Ausdehnung eine „kosmologische Konstante“ eingeführt, die noch immer näherungsweise die Ausdehnungsgeschwindigkeit beschreibt. Allerdings hat man durch genauere Entfernungsbestimmungen festgestellt, dass sich die Ausdehnung des Universums beschleunigt. Einstein selbst soll die kosmologische Konstante als die größte Eselei seines Lebens bezeichnet haben.

## Weiterentwicklung

In diesem Kapitel wird die weitere Entwicklung des Universums prognostiziert. Die anschaulichen Zeitskalen sind so weit wie möglich in denselben Größenverhältnissen, wie bei der Entstehung des Universums fortgesetzt.

Zeit (tatsächlich)	Zeit (anschaulich)	Ereignis
$2 \times 10^3$ n. Chr.	00:00:00	Heute
$9 \times 10^8$ n. Chr.	01:45:00	Die Erde wird zu heiß zum Leben
$4 \times 10^9$ n. Chr.	07:00:00	Kollision von Milchstraße und Andromedanebel
$5 \times 10^9$ n. Chr.	13:20:00	Unsere Sonne verschluckt unsere Erde
$5 \times 10^9$ n. Chr.	13:21:00	Unsere Sonne wird zu einem weißen Zwerg

Das Ende der Materie passt nicht mehr in diese Tabelle. Selbst unter Zuhilfenahme der anschaulichen Zeitmaßstäbe, wird es noch viele Jahrmilliarden dauern, bis die Materie vergeht. Am Ende scheitert sie an einem Effekt, der sich Hawkingstrahlung nennt. Die Hawkingstrahlung kann in diesem Skriptum noch nicht erklärt werden, weil man zuerst vertiefende Kenntnisse der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik benötigt, um sie zu verstehen.

Langfristig betrachtet wird diese Hawkingstrahlung die gesamte Materie auslöschen. Selbst schwarze Löcher werden irgendwann vollständig durch die Hawkingstrahlung zersetzt werden. Bis es soweit ist, wird es jedoch noch  $10^{70}$  Jahre dauern. In  $10^{120}$  Jahren wird die gesamte Materie innerhalb unseres Universums vernichtet sein.

Wie das Universum enden wird, weiß niemand so genau, weil wir die Zusammensetzung von 96% des Universums noch nicht einmal ansatzweise verstehen. Es gibt zum Ende des Universums drei Theorien, die nachstehend nach der Wahrscheinlichkeit geordnet aufgelistet sind:

**Big Whimper:** Das Universum dehnt sich derzeit aus. Wenn sich das Universum jedoch immer weiter ausdehnt, entfernen sich die Sterne immer weiter voneinander. Es können auch keine neuen Sterne entstehen, weil sich die Gase für die Molekülwolken immer weiter voneinander entfernen. Es wird sich also alles immer weiter entfernen, bis es irgendwann ganz dunkel ist.

**Big Rip:** Die Ausdehnung des Universums ist derzeit beschleunigt. Wenn das Universum weiter beschleunigt, ist die Ausdehnung irgendwann so stark, dass selbst die Atome auseinander gerissen werden.

**Big Crunch:** Wenn sich das Universum ausdehnt, entfernt sich auch die dunkle Energie, die für die Ausdehnung verantwortlich ist, immer weiter voneinander. Irgendwann wird die dunkle Energie so schwach sein, dass selbst die Gravitationskraft stärker ist und das Universum wieder in sich zusammengezogen wird.

## Dunkle Materie

Die Dunkle Materie wirkt sich gravitativ auf die Rotation der Galaxien aus. Man müsste meinen, dass die Sterne am Rand einer Galaxie dadurch, dass hier weniger Gravitation herrscht, eine langsamere Winkelgeschwindigkeit besitzen. Man hat aber nicht beobachtet, dass diese Geschwindigkeit abnimmt. Deshalb vermutet man am Rand einer Galaxie dunkle Materie, die diese fehlende Gravitation ausgleicht. Es kann sich bei der dunklen Materie auch nicht um normale Materie handeln, weil sie sich aufgrund der hohen Temperaturen innerhalb der Galaxien stärker ausdehnen müsste. Die dunkle Materie erzeugt - genauso wie die normale Materie auch - einen Gravitationslinseneffekt. Anhand dieses Effekts kann man erkennen, wo sich die dunkle Materie befindet.

[Erklärung des Gravitationslinseneffekts im Skriptum „Erforschung der \(Exo\)planeten“ ⓘ](#)

Eine alternative Theorie für die höhere Rotation des Galaxierandes ist, dass die Gravitationskonstante nicht konstant ist. Diese Theorie wurde aufgestellt bevor man den Gravitationslinseneffekt beobachtet hat, der ebenfalls auf eine dunkle Materie hindeutet. Deshalb gilt diese Theorie heute als veraltet.

Man unterscheidet zwischen zwei Arten von dunkler Materie: Der heißen dunklen Materie (HDM) und der kalten dunklen Materie (CDM). Auch wenn der Name anderes vermuten lässt, hat das nichts mit der Temperatur zu tun, sondern mit der Geschwindigkeit. Die heiße dunkle Materie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit, die kalte dunkle Materie ist langsamer. Aus den Entstehungsorten der Galaxien kann man erkennen, dass es hauptsächlich kalte dunkle Materie gibt. Als Bestandteil der dunklen Materie vermutet man die so genannten Wimps (weakly interactive massive particles). Es handelt sich dabei vermutlich um drei Teilchen, das Neutrino, das Axion und das Neutralino. Diese Teilchen wechselwirken nur über die Gravitation mit ihrer Umwelt. Man hat es bisher nicht geschafft, auch nur irgendeines der drei Teilchen experimentell nachzuweisen. Weitere Experimente zum Nachweis dieser Teilchen sind bereits geplant. Im galaktischen Halo könnten beim Zerfall von Materie solche Teilchen frei werden.