

Big Bang, der Startschuss für unser Universum

Die Theorien, die höchst seriöse Wissenschaftler über den Kosmos seit den 1960er Jahren bis heute entwickelt haben, lesen sich unglaublicher als Hollywood-Drehbücher oder Science-Fiction-Romane. »Big Bang« klingt erst einmal nach spektakulärer Action und bombastischem Cyberwar. Das war er eigentlich auch, der Urknall. Die Annahme, dass es ihn wirklich gab, entspringt allerdings nicht menschlicher Fantasie. Sie ist das Ergebnis objektiv nachvollziehbarer Beobachtungen. Eine ähnliche Revolution im Weltbild der Menschen gab es zum letzten Mal Anfang des 16. Jahrhunderts. Damals lehrte uns Kopernikus, dass nicht die Erde, sondern die Sonne der Mittelpunkt unseres Planetensystems sei. Das war eine Erkenntnis mit Folgen, weil sie dem Menschen die Vorstellung raubte, der Nabel der Welt zu sein. Deshalb ist auch vom »heliozentrischen Weltbild« (altgr. helios, die Sonne und kentron, der Mittelpunkt) und von der »kopernikanischen Wende« die Rede. Sie markiert den Anfang der modernen Wissenschaft. Große Astronomen wie Kopernikus, Kepler und Galilei wagten den Versuch, die Natur mit der Sprache der Mathematik zu beschreiben. Es wäre sicher falsch, zu sagen, dass Kopernikus das heliozentrische Weltbild und Gamow den Urknall erfunden haben. Sie rückten falsche Vorstellungen ihrer Mitmenschen zurecht und verhalfen realistischeren Sicht- und Denkweisen zum Durchbruch.

Wie kann man behaupten, dass alles mit dem Urknall begann, obwohl keiner dabei war?

Astronomen und Physiker sind die Kriminalpolizei des Universums: Sie können den Tathergang rekonstruieren, indem sie Spuren sichern und aus den Ereignissen nach der Tat die richtigen Schlüsse ziehen. Es gibt Folgen und Nachwirkungen des Urknalls, die noch heute beweisen, dass es ihn gab. Dazu gehört die Erkenntnis, dass sich alle Galaxien von uns weg bewegen: Das Universum dehnt sich aus!

Wie kann das sein, wo unsere Augen die Welt doch ganz anders sehen? Stehen die Sterne am Abendhimmel nicht immer am gleichen Ort?

Es scheint so! Wir müssen uns von der Vorstellung lösen, dass die Galaxien wie Kometen durch den Raum fliegen. Im Kosmos bewegt sich alles von allem weg, weil sich der Raum selbst ausdehnt, mitsamt seinem Inhalt.

Immer wenn Dinge in den Naturwissenschaften unvorstellbar kompliziert werden, behilft man sich mit einem Modell. Ein Modell ist ein vereinfachtes Abbild eines sehr begrenzten Ausschnitts der komplizierten Wirklichkeit. Es ist uns vertraut, weil es aus unserem Erfahrungsbereich stammt. Auch Kopernikus, Gamow und Einstein haben mit Modellvorstellungen gearbeitet. Was Gamows und unsere im Vergleich dazu wohl eher kindlichen Modellvorstellungen verbindet, ist die Tatsache, dass sie falsch sind. Beide sind von der unvorstellbar komplizierten Wahrheit weit entfernt, aber Gamow ist ein kleines bisschen näher dran. Das verbindet, weil es zeigt, wie klein der menschliche Verstand ist, egal ob wir Müller, Full, Gamow oder Einstein heißen. Modelle bilden die Wirklichkeit nur mit vielen Einschränkungen und niemals treu bis ins letzte Detail ab. Ein teures Modellauto ist die Nachbildung des echten Autos im verkleinerten Maßstab, das nur die wichtigen Eigenschaften des Fahrzeugs hervorhebt. Was wichtig ist, hängt allein vom Betrachter ab.

Eine Modellvorstellung vom auseinanderfliegenden Raum kann man sich regelrecht selbst backen. Beim Rosinenkuchenmodell ist der Teig der Raum und die Rosinen sind die Galaxien. Wenn der Teig im Backofen aufgeht, bewegen sich die Rosinen auseinander. Modelle sind Vorstellungshilfen, und wenn sie ihren Zweck erfüllen, dann sind sie gut. Es geht hier nicht um richtig oder falsch, es geht um gut oder schlecht!

Warum können wir den aufgehenden Rosinenkuchen am nächtlichen Sternenhimmel nicht sehen?

Wieder benutzen wir eine Hilfsvorstellung: Ein Stern am Abendhimmel ist wie eine Schnecke, die man aus 50 m Entfernung beobachtet. Auch wenn die Schnecke nach 10 min 5 cm weiter gekrochen ist, fällt es schwer, zu erkennen, dass sie den Abstand zu uns vergrößert hat. Was für die Schnecke 10 min sind, das sind für unser Universum viele Tausend Jahre. Man müsste mehrere Tausend Jahre leben, um Veränderungen erkennen zu können. Außerdem steht

der Schneckenbeobachter still, während die Erde im expandierenden Raum mitfliegt. Im Grunde heißt Ausdehnung aber auch, dass es in einigen Mrd. Jahren einen dunklen Himmel geben wird, da sich die meisten Galaxien zu weit von uns entfernt haben.

Für die Ausdehnung des Universums haben die Kosmologen den Begriff »Inflation« eingeführt. Er wird meist in einem ganz anderen Zusammenhang gebraucht, nämlich wenn die Preise davongaloppierten. Geldinflation lässt sich stoppen, die Inflation des Universums nicht. Wir wollen es dennoch versuchen, nur in Gedanken. Halten wir also im Geiste die Inflation des Universums einmal an und lassen den Film zurücklaufen. Jetzt sehen wir, wie das Universum immer kleiner wird, je weiter wir die Zeit zurückdrehen, bis es schließlich in einem einzigen Punkt zusammenfällt. Wir sind am Zeitpunkt Null angekommen. Das gesamte Universum befindet sich jetzt in einer Blase, die tausendmal kleiner ist als ein Stecknadelkopf. Dort ist es unvorstellbar heiß und dicht.

Jetzt kann der Film von vorn ablaufen. Der Moment, in dem die Blase explodiert, gilt als die Geburt von Raum, Zeit und Materie. Man sollte sich den Big Bang nicht als eine scheppernde Riesenexplosion in einem bestehenden Raum vorstellen. Besser trifft das Bild von einem winzigen Punkt von extrem hoher Dichte, der sich in der ersten Nanosekunde (das ist eine milliardstel Sekunde) von weit unter Stecknadelkopfgröße auf mehr als die Größe der Milchstraße aufbläht (die Kosmologen und Physiker nennen das »Singularität«). Mit der Ausdehnung war auch eine Abkühlung des Universums verbunden. Die Energie verwandelte sich dabei in Materieteilchen und als das Universum eine millionstel Sekunde alt war, entstanden Teilchen wie Protonen und Neutronen, die später als Bausteine für Atome dienten. Nach ca. 1000 s bildeten sich durch Kernfusion die ersten Heliumatomkerne. Für die Bildung kompletter Atome war es aber immer noch viel zu heiß. Erst nach 400 000 Jahren war das Plasma auf ca. 6000 °C (so heiß ist es übrigens auf der Oberfläche unserer Sonne) abgekühlt, sodass sich Atomkerne und Elektronen zu Wasserstoff- und Heliumatomen vereinigen konnten. Mit der Abnahme der Temperatur im Universum verlangsamten sich auch die Bewegungsabläufe. Die ersten Sterne bildeten sich nach 100 Mio. Jahren. In ihrem Inneren verschmolzen die leichten Atome zu schweren Elementen. Die Sterne implodierten nach ein paar Millionen Jahren und schleuderten ihre Materie mit den schweren Elementen als Materiallager für die nächste



(Bild: Fotolia.)

Blitz und Donner gehören zusammen, aber warum sieht man zuerst den Blitz und hört dann erst den Donner?

Der Donner kommt immer nach dem Blitz, weil sich Licht mit ca. 300 000 km/s, Schall aber »nur« mit etwa 1200 km/h ausbreitet.

Sternengeneration ins All. Nach 300 Mio. Jahren kam es zur Entstehung von größeren Galaxien, die sich aus kleineren bildeten. Heute umfasst das Universum geschätzte 100 Mrd. Galaxien. Auch wir Menschen sind letztlich aus dem Material zusammengesetzt, das tote Sterne ins All geworfen haben.

Es ist keine Übertreibung zu sagen, dass das menschliche Wesen Sternstaub ist, denn das Eisen in unserem Blut, das Calcium in unseren Knochen und all die anderen Schwermetalle in unserem Körper sind durch Explosion einer Supernova entstanden, aus der sich dann unser Sonnensystem und schließlich auch wir entwickelt haben.

Michael Shara

Das Licht fremder Galaxien braucht wegen der ungeheuren Entfernungen oft unendlich lange, bis es uns erreicht. Damit wir einen Himmelskörper überhaupt sehen können, muss sein Licht zu uns dringen, und das kann dauern: 8 min für die 150 Mio. km von der Sonne zur Erde. Von der unserer Milchstraße benachbarten Andromedagalaxie braucht es 2,5 Mio. Jahre bis zu uns. Es kann gut sein, dass das Licht einer extrem weit entfernten Galaxie, das sich mit ihrer Entstehung vor 5 Mrd. Jahren auf den Weg machte, erst heute bei uns ankommt. Solches Licht gewährt uns einen Blick in die Wiege von

Galaxien. Auch dort wo der Nachthimmel dunkel ist, sind womöglich Sterne, aber ihr Licht ist bei uns noch nicht angekommen. Und wo wir das Licht eines Sterns erblicken, ist dieser vielleicht schon längst erloschen, aber sein Licht saust noch durch den Weltraum. Ein Blick in die Tiefen des Alls ist immer ein Blick in die Vergangenheit. Allein in unserer Milchstraße konnten Astronomen in den letzten Jahrzehnten mit modernen Beobachtungstechniken und Bildbearbeitungsverfahren Sonnensysteme in ganz unterschiedlichen Entwicklungsstadien studieren. Sie haben die große Auswahl, denn allein in unserer Galaxie gibt es ca. 1 Mrd. Sonnensysteme – zu einem davon gehört unsere Erde.

Die Ausdehnung des Alls ist ein wichtiges Indiz für den Big Bang. Für eine überzeugende Rekonstruktion des Tathergangs braucht es aber weitere Beweise. Sie stammen aus dem Jahre 1965 und sind keinesfalls das Ergebnis einer gezielten Suche nach einer Bestätigung des Urknalls.

Astronomen sind keine Astrologen und mit Voraussagen haben sie eigentlich überhaupt nichts am Hut. Umso erstaunlicher ist es, dass Gamow, den wir ja schon als einen der Väter des Urknallmodells kennengelernt haben, bereits 1949 eine Vorhersage machte, die sich erst 1965 durch die Arbeiten der amerikanischen Physiker Arno Penzias und Robert Wilson erfüllte. Die beiden beschäftigten sich damals mit dem Bau einer empfindlichen Hornantenne, um mit einem Riesenohr das Weltall belauschen zu können. Sie kamen gut voran, aber was sie ärgerte, war ein permanentes Hintergrundgeräusch, das die mit Spannung erwarteten akustischen Botschaften aus dem All überdeckte. Es klang wie eine Bild- und Tonstörung im Fernsehen oder wie das Rauschen im Radio, wenn man einen Sender wählt. Penzias und Wilson suchten verzweifelt nach Fehlern in ihrer Anlage, aber sie fanden keine. Sogar ein in der Antenne nistendes Taubenpaar und deren Kot wurden als Störquelle verdächtigt. Die Tauben wurden gefangen und der Kot wurde entfernt. Alles war umsonst: Es rauschte weiter, Tag und Nacht und zu allen Jahreszeiten und es rauschte – wohin auch immer sie das große Ohr richteten – von allen Stellen des Himmels. Schließlich blieb keine andere Erklärung als die, dass das Rauschen keinen Störzustand des Gerätes, sondern den Normalzustand des Universums beschreibt. Es rauscht aus dem Universum, weil dieses mit Strahlung ausgefüllt ist. Was Penzias und Wilson hörten, war das Echo des Urknalls. Manche sprechen auch vom »Nach-

glühen der Schöpfung«. Die Physiker nennen es »Hintergrundstrahlung des Universums«, und zur Erklärung fügen sie hinzu, dass diese einer Temperatur von -270°C entspricht. Warum aber gerade -270°C und was hat Strahlung überhaupt mit Temperatur zu tun?

Strahlung transportiert Energie, die sie auf Objekte übertragen kann, wenn sie auf diese trifft. Wir alle haben schon die Erfahrung gemacht, dass sich Gegenstände erwärmen, wenn Sonnenlicht sie bescheint. Die Sonnenwärme kann unmöglich durch irgendwelche Körper zur Erde weitergeleitet worden sein, da sich zwischen Sonne und Erde ein riesiger leerer Raum befindet. Es ist die Strahlung des Lichtes, die die Wärme transportiert. Wenn man eine Hand unter ein heißes Bügeleisen hält, spürt man auch Wärme. Sie gelangt nicht durch die Luft an die Hand, denn Luft ist ein ganz schlechter Wärmeleiter und außerdem steigt warme Luft ja nach oben. Die Wärme erreicht die Hand durch eine unsichtbare Strahlung. Man nennt sie Wärmestrahlung. Es gibt Tiere, die ihre Beute im Dunkeln dadurch aufspüren, dass sie Antennen für deren Wärmestrahlung haben. So kann eine Schlange blitzschnell zubeißen und eine Maus zielsicher erwischen, obwohl sie sie nicht sieht. Sie spürt sie nur!

Alle Gegenstände senden Wärmestrahlung aus. Die Abbildung zeigt eine Katze, die mit einer Wärmekamera aufgenommen wurde. Dabei wird die Wärmestrahlung von der Kamera erfasst und normalerweise durch verschiedene Farben als Wärmebild dargestellt. Jede Farbe entspricht einer bestimmten Temperatur. Hier wurden die Farben nachträglich in Graustufen verwandelt. Man sieht, dass



Wärmestrahlung Katze (Bild: foto-technik Dieter Schüßler).

die Katze warme Ohren und warme Augenhöhlen hat. Von dort wird Wärme an die Umgebung abgestrahlt. Die Katzenase ist relativ kalt.

Gegenstände geben umso mehr Wärmestrahlung ab, je heißer sie sind. Wenn sie bei Temperaturen um 600 °C zu glühen anfangen, strahlen sie nicht nur Wärme, sondern auch Licht ab. Das Licht ist erst dunkelrot und wird dann immer weißer, je heißer der Gegenstand wird. Alle Objekte, deren Temperatur nicht null ist (hier ist der absolute Nullpunkt von -273 °C gemeint; das ist die tiefste mögliche Temperatur), senden Strahlung aus. So kann man einer bestimmten Temperatur eine bestimmte Strahlung und einer bestimmten Strahlung eine bestimmte Temperatur zuordnen. Wenn die Hintergrundstrahlung des Universums einer Temperatur von -270 °C entspricht, liegt sie um 3 °C über der Nullmarke. Man kann sie als ein Überbleibsel des mehr als 10 Mrd. Grad heißen Urknall-Feuerballs betrachten. Strahlen kann man sortieren, z. B. in UKW-, Infrarot- oder Röntgenstrahlen. Die Hintergrundstrahlung gehört zu den Mikrowellenstrahlen. Sie ist im Universum gleichförmig verteilt. Daraus kann man schließen, dass alle Bereiche des Weltalls zu einem früheren Zeitpunkt einmal miteinander in Verbindung gestanden haben müssen.

Die kosmische Hintergrundstrahlung wurde 1949 vorausgesagt, 1965 entdeckt und 1978 von der Fachwelt mit der Verleihung des Nobelpreises an Penzias und Wilson gefeiert. Aber was sind schon 30 Jahre Wissenschaftsgeschichte im Vergleich zum Alter der gefeierten Entdeckung. Der Menschheit ist es gelungen, etwas aufzuklären, was es schon 14 Mrd. Jahre lang gibt!

Heute wissen wir, dass Kosmologen mit der Entdeckung des Urknalls nur eines der vielen Geheimnisse des Universums entschlüsselt haben. In den letzten Jahren verdichten sich die Anzeichen, dass wir dabei sind, die dritte große Revolution in der Kosmologie nach der kopernikanischen Wende und der Formulierung des Urknallmodells zu erleben. Seit wenigen Jahren beginnen Kosmologen zu erkennen, dass unser Heimatuniversum riesig, aber endlich ist. Hinter dem Horizont, sagen sie, gibt es weitere Universen, hinter ihnen noch mehr und noch mehr. Unser Sichthorizont ist offenbar kein Denkhorizont. Deshalb werden auch neue Begriffe gesucht, weil Universum ja mit unus (lat. eins) zu tun hat. »Multi« trifft die neue Welt besser. Man spricht vom Multiversum oder von Paralleluniversen, wenn man das Megamultiweltall meint.

Stephen Hawking, einer der größten noch lebenden Kosmologen, Physiker und Mathematiker, der wegen einer schweren Nervenkrankheit sein Leben seit vielen Jahren im Rollstuhl verbringen muss, spricht von bis zu 10^{500} möglichen verschiedenen Universen. Das ist eine Zahl, die jegliches menschliches Vorstellungsvermögen sprengt und alles übertrifft, was uns in diesem Buch an Zahlenmonstern begegnet: Auf die 1 folgen 500 Nullen. Wenn wir die Nullen beim Schreiben zu Dreiergruppen mit jeweils einem Leerzeichen dazwischen anordnen, dann bringt man bei dem hier gewählten Schriftsatz 51 Nullen in eine Zeile. Man müsste also knapp 10 Zeilen mit Nullen nach der 1 füllen, um 10^{500} in der Langform auszudrücken. Hawking ist nicht immer leicht zu verstehen, aber er bemüht sich, seine kompliziert-genialen Vorstellungen von der Welt in einer verständlichen Bildersprache zu vermitteln. Die Entstehung der Universen vergleicht er mit der Bildung von Dampfblasen in kochendem Wasser. Miniuniversen, die sich kurz ausdehnen und dann wieder zusammenfallen, entsprechen in diesem Bild den vielen winzigen Blasen, die nur kurze Zeit existieren. In ihnen können sich keine Galaxien entwickeln, weil sie viel zu kurzlebig sind. Im kochenden Wasser gibt es aber auch Blasen, die dem Kollaps entgehen und auf ihrem Weg zur Wasseroberfläche immer größer werden. Ihre rasante Expansion vergleicht Hawking mit der extremen Geschwindigkeit, mit der sich manche Universen ausdehnen. Wenn sie eine bestimmte Größe erreichen, sind sie für die Entstehung von Galaxien und Sternen geeignet. Mindestens eine Universumsblase ist darunter, in der sich auch noch Wesen, wie wir es sind, bilden können.

Mit der Annahme eines Multiversums nähert sich die Kosmologie der Grenze zur Fantasie und verlässt den Boden einer experimentell überprüfbaren Wissenschaft, auf dem noch das Urknallmodell entstand.

Es gibt noch weitere Indizien, die den Big Bang belegen. Hier an dieser Stelle verzichten wir darauf, auf sie näher einzugehen, weil ihr Verständnis einen gewissen Wissensstand voraussetzt, den wir uns erst noch aneignen müssen.

Experimente zum Kapitel 1

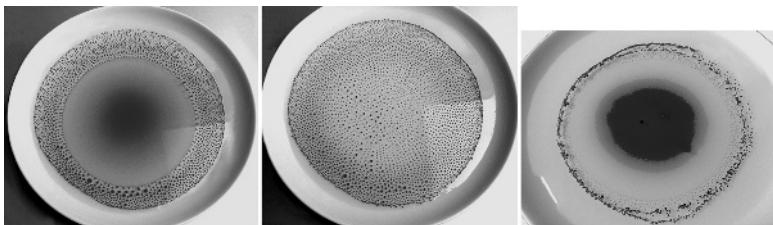
Spiele zur Ausdehnung des Universums und zur Wärmestrahlung

Versuch 1.1 Big Bang im Suppenteller



Geräte und Materialien: Teller, Sonnenblumenöl, 2 Trinkgläser, Esslöffel, Kaffeelöffel, Spiritus, 3 Tintenpatronen blau, 1 Pipette, kleiner Nagel (zum Eindrücken des Kugelverschlusses der Tintenpatronen oder Füllfederhalter)

- Gib in ein Trinkglas 2 Esslöffel Spiritus (Alkohol).
- Dann gibst du den Inhalt von 3 blauen Tintenpatronen zu.
- Gieße in den Teller Sonnenblumenöl.
- Tropfe mit einer Pipette schnell hintereinander ca. 20 Tropfen von der blauen Lösung auf einen Punkt in die Mitte der kreisförmigen Öloberfläche.
- Wenn sich der Fleck in lauter kleine Punkte aufgelöst hat (Bild: Mitte), gibst du nochmals in die Mitte 20 Tropfen von der blauen Lösung (Bild: rechts).



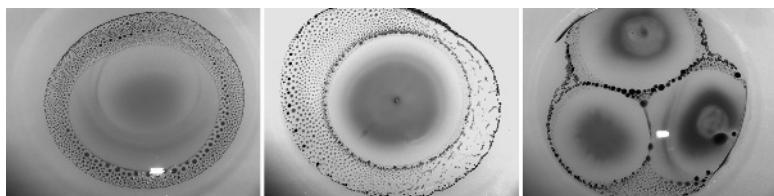
Erklärung: Die Tintenlösung bildet einen feinen Film auf dem Öl, der sich ausbreitet. Die Ausbreitung stoppt plötzlich, wenn der Film überall die gleiche Dicke erreicht hat. Dann setzt eine Art »Implosion« ein, weil der leichter flüchtige Alkohol in der feinen Schicht relativ schnell verdunstet. Die blauen Punkte, die nach dem Verschwinden wie Inseln (Galaxien im Universum) zurückbleiben, sind isolierte Wassertröpfchen, die den Farbstoff in sich speichern.



Versuch 1.2 Paralleluniversen im Suppenteller

Geräte und Materialien: siehe Versuch 1.1; zusätzlich: Tintenpatronen rot und grün

- Wenn du noch rote oder grüne Tinte hast, kannst du nochmals Spirituslösungen wie oben beschrieben herstellen und mit den Farben spielen. Dabei kannst du die einzelnen Farben nach kurzem Warten zur Ausbreitung des vorherigen Flecks immer auf die gleiche Stelle tropfen (Bild: links und Mitte) oder in kurzen Abständen nebeneinander platzieren und so Paralleluniversen (Bild: rechts) simulieren (siehe auch Abb. 17 in den Farbtafeln). Du kannst das öfter wiederholen, ohne das Öl zu wechseln.



Versuch 1.3 Ausdehnung

Geräte und Materialien: Luftballon (runde Form), Beutelverschluss-Clip, Locher, Klebestift, schwarzer Filzstift, weißer Zettel, Lineal



- Blase den Luftballon ein bisschen auf und verschließe ihn am Hals mit der Klemme.
- Beklebe die Luftballonoberfläche mit weißen Papierpunkten vom Papierlocher. Nimm sie mit einem feuchten Finger auf, streife sie

- mit der anderen Seite über die Klebefläche des Klebestiftes und klebe sie auf der Luftballonoberfläche fest.
- Zeichne mit dem Filzstift eine wellenförmige Linie auf die Ballonoberfläche mit gleichmäßigen Abständen von Wellenberg zu Wellenberg.
 - Miss mit einem Lineal den Abstand vom 1. zum 2. Wellenberg und den Abstand zwischen einigen weißen Klebepunkten und notiere dir die Werte.
 - Lockere den Luftballonverschluss etwas, blase den Luftballon kräftig auf und verschließe ihn wieder. Beobachte und vergleiche die Abstände der Klebepunkte und der Wellenberge vorher und nachher.
 - Miss dazu wieder den Abstand vom 1. zum 2. Wellenberg und zwischen den vorher vermessenen weißen Klebepunkten und vergleiche mit der ersten Messung.

Versuch 1.4 Wärmestrahlung



2 Esslöffel, Kerze, Anzünder, Untertellerchen, 2 gleiche Münzen, Schreibtischlampe



- Zünde eine Kerze an und halte die Innenfläche eines Esslöffels so lange in die Flamme, bis sie ganz beruht ist.
- Lege die beiden Münzen auf ein Tellerchen und lasse von der Kerze Wachs auf die Münzen tropfen. Drücke dann die gewölb-

te Außenseite des Löffels in das flüssige Wachs und lasse so die Münzen an den Löffeln (einer beruht, einer unberuht) festkleben.

- Jetzt hältst du die beiden Löffel dicht nebeneinander (sie berühren sich) so vor die Lampe, dass ihre Innenseite zur Lampe zeigt. Nähere dann die Löffel der Lichtquelle, zunächst bis auf einen Abstand von ca. 10 cm, dann etwas näher, bis eine der Münzen herunterfällt. Die Löffel müssen immer den gleichen Abstand zur Lichtquelle haben und von dieser gleich stark angestrahlt werden.

- **Hinweis:** Eine Lampe sendet Infrarotstrahlung aus, die man auch Wärmestrahlung nennt. Diese wird von den bestrahlten Flächen aufgenommen, wobei sie sich erwärmen. Schwarze und raue Flächen können die Wärmestrahlung wesentlich besser aufnehmen und speichern als glatte und glänzende Flächen.