

Die kosmologische Rotverschiebung als Folge der Allgemeinen Relativitätstheorie

Inhalt

1. Einleitung	2
2. Woher kommt die kosmologische Rotverschiebung . .	3
3. Das mathematische Modell der Rotverschiebung . .	7
4. Folgerungen aus der Rotverschiebung durch die allgemeine Relativitätstheorie . .	13
5. Literatur	16

Zusammenfassung

Die kosmologische Rotverschiebung läßt sich als Wirkung der Allgemeinen Relativitätstheorie erklären. Unter Berücksichtigung der Masseänderung durch die potentielle Energie entsprechend [3] läßt sich die Rotverschiebung durch ein durchsichtiges Kontinuum, welches eine Lichtquelle umgibt, ausrechnen. Dabei ergibt sich eine verstärkte Zunahme der Rotverschiebung (beschleunigte Expansion) in sehr großen Entfernungen, ohne daß man eine Dunkle Energie postulieren muß. Aus der Kenntnis der Hubble-Konstanten von 21km/s je Million Lichtjahre Entfernung kann man eine mittlere Dichte des Universums von $1,76 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ ausrechnen.

1. Einleitung

Die kosmologische Rotverschiebung ist ein bis heute nur sehr unbefriedigend geklärtes physikalisches Phänomen. Diese Rotverschiebung wurde Anfangs mit einer realen Expansionsbewegung aller Materie und dem dadurch entstehenden Dopplereffekt begründet. Heute wird teilweise versucht, sie mit „der Entstehung neuen Raumes“ zwischen den großen Sternsystemen zu begründen. Noch schwieriger ist die Erklärung der verstärkten Zunahme der Rotverschiebung in sehr großen kosmischen Entfernungen. Diese verstärkte Zunahme der Rotverschiebung wird heute durch eine sonst nicht nachweisbare, äußerst spekulative Dunkle Energie, einer Kraft mit abstoßender Wirkung erklärt. Dunkle Energie ist heute reine Spekulation, sie läßt sich durch keine andere Wechselwirkung nachweisen.

In dieser Schrift wird gezeigt, wie man die kosmologische Rotverschiebung und auch die verstärkte Zunahme der Rotverschiebung durch die Wirkung der allgemeinen Relativitätstheorie erklären kann. Als Voraussetzung ist nur ein völlig statisches Universum mit großräumig konstanter Dichte erforderlich. Dieses ist eine Erklärung der kosmologischen Rotverschiebung ganz im Einsteinschen Sinn. Ohne jede kosmologische Expansion und völlig ohne hochspekulative Dunkle Energie, nur mit Hilfe der Allgemeinen Relativitätstheorie und einem statischen Universum konstanter Dichte.

Ich möchte hier die allgemeine Lösung dieses Problems möglichst einfach darlegen. Deshalb verzichte ich auf die Betrachtung der Rotation. Die Rotation bringt keine grundsätzlich neuen Gesichtspunkte, macht eine Betrachtung aber deutlich komplizierter. Es ist auch keinerlei 4-dimensionaler Raum notwendig, für diese Betrachtung genügen 3 geometrische Dimensionen und die Zeit.

Noch etwas zur Systematik: die angegebenen Gleichungen sind durchnummeriert. Die laufende Nummer steht in Klammern vor der Gleichung. (3.4) bedeutet, es ist die vierte Gleichung im Kapitel 3. Falls die Nummer dahinter steht, ist es eine Wiederholung, diese Gleichung wurde schon in dem dahinterstehenden Kapitel aufgeführt.

2. Woher kommt die kosmologische Rotverschiebung

Slipher, Hubble und andere Astronomen haben Anfang des 20. Jahrhunderts herausgefunden, daß alle Spektren von weit entfernter leuchtender Materie rotverschoben sind. Doch woher kommt diese Rotverschiebung ? Man glaubte anfangs, diese Rotverschiebung wird von einer realen Expansionsbewegung mit etwa 21 km/s je Million Lichtjahre Entfernung verursacht. Andere Wissenschaftler behaupten, es gäbe keine reale Expansionsbewegung, sondern nur eine Art „Treiben“ in der Raumzeit. Dem muß ich zwei Dinge entgegenhalten :

- Die Raumzeit ist keine Art Medium, keine Art Wasser im Universum, kein Äther, in dem man treiben könnte. Jeder der vom „Treiben“ in der Raumzeit spricht, negiert die energetische Wechselwirkung (Gravitation) zwischen weiter entfernten Teilen unseres Weltalls. Oft wird auch behauptet, es gäbe keine Expansionsbewegung, sondern zwischen den Objekten im Weltall entsteht einfach nur neuer Raum. Auch das Modell der „Entstehung neuen Raumes“ ist ein Mittel, um die energetischen Wechselwirkungen zwischen den Objekten des Weltalls aufzuheben. Meiner Meinung nach zeugen diese Modelle vom „Treiben in der Raumzeit“ und vom „Entstehen neuen Raumes“ auch von einer gewissen Unklarheit der Begriffe „Raum“ und „Zeit“. Diese Begriffe sind in [4] ausführlich erläutert.
- Raum und Zeit sind Modelle der Umwelt um die Möglichkeit zu schaffen, ein Nebeneinander und ein Nacheinander von Ereignissen und Objekten zu beschreiben. Ohne das Nebeneinander und das Nacheinander von Ereignissen sind keinerlei Kausalzusammenhänge möglich und ist auch keinerlei Physik möglich. Raum und Zeit sind Koordinaten. Sie definieren Orte und Zeitpunkte. Das ist aber auch schon alles, was Raum und Zeit gemeinsam ist. Es gibt doch sehr deutliche Unterschiede zwischen Raum und Zeit. Die Bewegung in den drei geometrischen Dimensionen ist, wenn der Raum leer ist und die notwendige Energie zur Verfügung steht, in jeder Richtung

möglich. In der Zeit ist gar keine selbständige Bewegung möglich, man wird ganz gleichmäßig vorwärts durch die Zeit bewegt. Zur Bewegung in der Zeit ist keine Energie erforderlich, nur für die Ursache-Wirkungs-Vorgänge, die man zum Feststellen der Zeit benötigt, ist Energie erforderlich. Und wenn man die zeitliche Koordinate mit den räumlichen Koordinaten in der Raumzeit gleichsetzt, ist die Bewegung nicht mehr in jeder Richtung möglich. Auch das Ruhen an einem Punkt ist in der Raumzeit nicht möglich. Auch Rotationen um einen Punkt sind in der Raumzeit nicht möglich. Raum und Zeit sind in [4] ausführlich erläutert. Ich halte es für verwirrend, von einer Raumzeit zu sprechen, und dabei alle Unterschiede zwischen Raum und Zeit zu verwischen. Es ist zwar nicht falsch, aber doch sehr verwirrend, von einer Bewegung in der Raumzeit zu sprechen, nur weil die Zeit vergeht. Dabei werden die frei wählbare räumliche Bewegung und die fest vorgegebene Bewegung in der Zeit gleichgesetzt. In der vierten Koordinate steht aber gar nicht die Zeit selbst, sondern der Wirkungsradius. Und der Wirkungsradius steigt, auch wenn nur die Zeit vergeht.

Ich möchte hier zeigen, daß man diese Rotverschiebung auch anders, z.B. mit einer Wirkung der Allgemeinen Relativitätstheorie begründen kann. Danach gäbe es gar keine reale Expansionsbewegung. Für diese Darlegung setzen wir 2 Dinge voraus :

- Das Universum ist im wesentlichen im großräumigen Maßstab gleichmäßig mit Materie angefüllt. Wir rechnen vorerst mit etwa 10 Teilchen (Protonen oder Neutronen) je Kubikmeter ($1,7 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ Dichte).
- Das Universum ist auch über den uns sichtbaren Raum hinaus bedeutend weiter in der gleichen Weise, wie oben angenommen, gleichmäßig mit Materie angefüllt.

Wir stellen uns jetzt vor, in $1,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$ Entfernung (etwa $14 \cdot 10^9$ Lichtjahre) ist eine Lichtquelle, die wir beobachten können. Wir denken uns jetzt eine kugelförmige Grenze rund um diese Lichtquelle in $1,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$ Entfernung. Diese Grenze läuft also genau durch unseren Beobachterstandort, und ist kugelförmig in $1,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$

um diese Lichtquelle. Das ist im Bild 1 ist dargestellt. Diese Kugel um die Lichtquelle ist mit einer lichtdurchlässigen Masse mit einer Dichte von $1,7 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ gleichmäßig ausgefüllt. Eine Kugel von $1,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$ Radius hat ein Volumen von $9,2 \cdot 10^{78} \text{ m}^3$. Bei einer Dichte von $1,7 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ ergibt sich eine Gesamtmasse dieser Kugel von $1,6 \cdot 10^{53} \text{ kg}$. Eine Masse von $1,6 \cdot 10^{53} \text{ kg}$ hat einen Schwarzschild-Radius von $2,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$. Der Beobachter befindet sich also (von innen) etwas weiter als am halben Schwarzschild-Radius der Masse der Kugel rund um die Lichtquelle und sieht diese Lichtquelle daher schon deutlich rotverschoben. Diese Rotverschiebung resultiert im Wesentlichen nur daraus, daß die Uhr an der Lichtquelle im Massezentrum für uns als Beobachter von Außen auf das Massezentrum langsamer geht. Das nennt man gravitative Rotverschiebung oder gravitative Zeitdilatation. Würde es ein wenig Nebel geben, und man könnte einen Lichtstrahl, der am Beobachter vorbei nach draußen führt, von der Lichtquelle aus bis nach draußen verfolgen, dann hätte dieser Strahl für unseren Beobachter an der Grenze überall auf seinem Weg die gleiche



Bild 1 : Ein Beobachter am Rand der Kugel mit Masse sieht die Lichtquelle im Zentrum der Kugel mit Masse durch die Masse der Kugel rotverschoben

Rotverschiebung. Vom Beginn des Strahls an ! Diese Rotverschiebung ist also nur abhängig vom Beobachterstandort und von der Menge oder der Dichte der durchsichtigen Masse rund um die Lichtquelle.

Einige aufmerksamen Leser werden jetzt einwenden, man könnte auch den Beobachter im Bild 1 ins Zentrum rücken und die Lichtquelle an den Rand. Das ist unmöglich, denn wir haben ja ein Kontinuum vorausgesetzt ! Wenn man einen zweiten Beobachter ins Zentrum an die Lichtquelle setzen würde, wäre für ihn um den ersten Beobachter auch eine Kugel mit Masse und er würde die Uhr des ersten Beobachters langsamer gehen sehen. Die Verlangsamung der Zeit einer entfernten Uhr erfolgt nur auf Grund der Masse, die diese Uhr auf dem Weg zum Beobachter umgibt. Das ist gravitative Zeitdilatation. Und das verursacht eine Rotverschiebung jeder vom Beobachter entfernten Lichtquelle im Kontinuum,

Diese Anordnung entsprechend Bild 1 um den Beobachter mit der Kugel und der Lichtquelle ist in jede Richtung vom Beobachter aus möglich, diese Rotverschiebung ist also in alle Richtungen existent. Und diese Rotverschiebung existiert nur auf Grund der Masse rund um die Lichtquelle, ohne jede reale Bewegung zwischen Lichtquelle und dem Beobachter. Eine Rechnung dafür wird in den Kapiteln 3 und 4 vorgestellt. Diese Darlegung würde bedeuten, daß unser Universum nicht expandiert, sondern im Wesentlichen statisch ist. Die beobachtete Rotverschiebung wäre damit ein Effekt der gravitativen Zeitdilatation der Allgemeinen Relativitätstheorie, und keiner realen Bewegung.

Diese Rotverschiebung funktioniert für alle Lichtquellen, so lange unser Universum gemäß der Voraussetzungen für diese Darlegung, im großräumigen Maßstab, weit über die sichtbaren Grenzen gleichmäßig mit Materie angefüllt ist.

Diese hier dargestellte Möglichkeit zur Erklärung der Rotverschiebung ist deshalb so verlockend, weil der Verlauf der Rotverschiebung mit der Entfernung mit dem beobachteten Verlauf der Rotverschiebung übereinstimmt. Einschließlich der beschleunigten Expansion ! Und das funktioniert ganz ohne dunkle Energie. Die Rechnung dazu wird im folgenden Kapitel dargelegt.

Diese Darlegung zeigt, daß man die Rotverschiebung mit der gravitativen Zeitdilatation der allgemeinen Relativitätstheorie ohne jede reale Expansionsbewegung erklären kann. Die Uhren an weit entfernten Lichtquellen gehen für uns langsamer, weil sich um diese Lichtquellen herum riesige Massen befinden.

3. Das mathematische Modell der Rotverschiebung

Aus der in [3] gezeigten Unmöglichkeit eines Ereignishorizontes ergeben sich auch Folgen für das Sehen in die Unendlichkeit. Wenn man eine Masse konstanter Dichte, die gleichmäßig im Raum verteilt ist, beliebig vergrößert, hat sie irgendwann die Größe ihres eigenen Schwarzschild-Radius erreicht. Je geringer die Dichte der Masse ist, um so größer ist dieser Schwarzschild-Radius. Für unser Universum ergibt sich bei einer Dichte von $1,7 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ bei einem Radius von $9,7 \cdot 10^{25} \text{ m}$ eine Übereinstimmung mit dem Schwarzschild-Radius. Eine Kugel mit einem Radius von $9,7 \cdot 10^{25} \text{ m}$ hat ein Volumen von $3,82 \cdot 10^{78} \text{ m}^3$. Bei der angegebenen Dichte ergibt sich eine Masse dieser Kugel von $6,5 \cdot 10^{52} \text{ kg}$. Eine Masse von $6,5 \cdot 10^{52} \text{ kg}$ hat einen Schwarzschild-Radius von $9,7 \cdot 10^{25} \text{ m}$. Wenn man den Schwarzschild-Radius als Ereignishorizont betrachtet, bedeutet das auch, daß man nicht weiter als $9,7 \cdot 10^{25} \text{ m}$ sehen kann. Denn in jeder Richtung um uns herum liegt dann eine Kugel mit $6,5 \cdot 10^{52} \text{ kg}$ Masse und mit einem Ereignishorizont zwischen uns und der Lichtquelle. Im [3] wurde gezeigt, daß es keinerlei Ereignishorizont gibt. Deshalb kann man auch prinzipiell (ohne Berücksichtigung der Rotverschiebung) unendlich weit sehen.

Dabei ergeben sich aber technische Probleme. Wenn man eine Galaxie in $10 \cdot 10^9$ Lichtjahren Entfernung mit einem Teleskop mit 10m Durchmesser gerade noch erkennen kann, benötigt man, um die gleiche Galaxie in $100 \cdot 10^9$ Lichtjahren Entfernung zu erkennen, ein Teleskop mit 100 Metern Durchmesser. Die Rotverschiebung oberhalb des Schwarzschild-Radius wächst jedoch so gewaltig an, daß man in $100 \cdot 10^9$ Lichtjahren Entfernung keinerlei Objekt im optischen Bereich mehr erkennen kann. Objekte in derart großer

Entfernung kann man bestenfalls noch radioastronomisch erfassen. Man sieht, die Beobachtung derartig weit entfernter Objekte ist sehr kompliziert, und erfordert einen hohen technischen Aufwand. Man kann in dieser riesigen Entfernung nur die hellsten Objekte sichtbar machen. Der Beobachtung derartiger Objekte sind technische Grenzen gesetzt. Die größten, heute vorhandenen optischen Teleskope haben einen (Spiegel-) Durchmesser von etwa 10 Metern. Bei Radioteleskopen ist gerade eine gewaltige Entwicklung im Fluß.

Die Entfernungsbestimmung dieser extrem weit entfernten Objekte erfolgt fast nur noch über die Rotverschiebung. Deshalb ist es wichtig, zu ermitteln, welchen Wert diese Rotverschiebung über derartige Entfernungen tatsächlich hat. Gibt es eine Dunkle Energie, die das Universum auseinander treibt ?

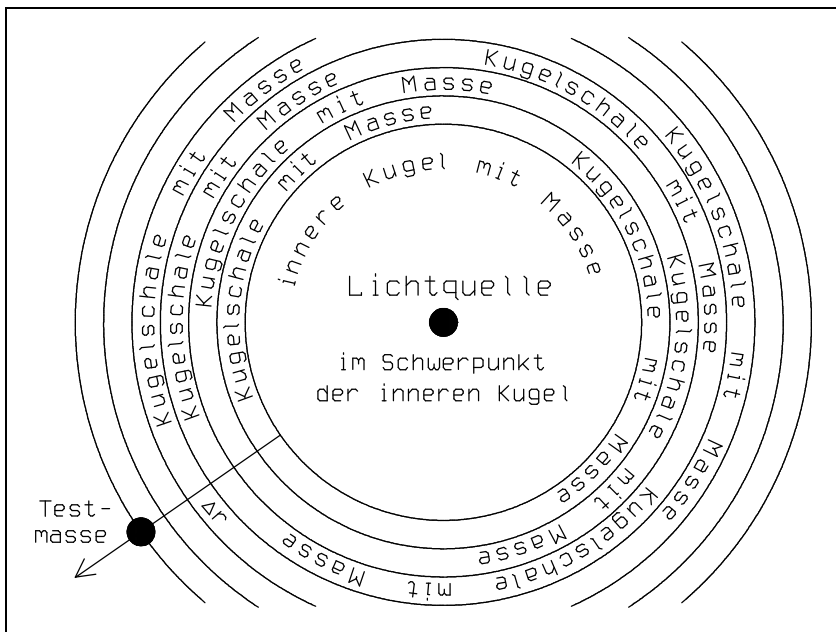


Bild 2 : Bewegung der Testmasse von der Lichtquelle weg mit aufsummierung der potentiellen Energie durch die Masse aller innenliegenden Kugelschalen und der inneren Kugel

Um die Rotverschiebung zu ermitteln, wird die Massezunahme einer kleinen Testmasse ermittelt und mit der Frequenzverschiebung des Photons in Relation gesetzt. Dazu wird Gleichung (2.9) aus [3] benutzt. Ausgegangen wird dieses Mal von einer Kugel im Zentrum. Über die Dichte wird die Masse der Kugel im Zentrum ausgerechnet. Es wird ermittelt, wieviel die Masse einer Testmasse durch das Hochheben der Testmasse von r auf $r + \Delta r$ zunimmt. Danach wird r auf $r + \Delta r$ vergrößert und der Vorgang wird wiederholt. Diese Anordnung ist im Bild 2 dargestellt. In Folge der Vergrößerung des Radius r wird auch die große Masse (innenliegende Kugelschalen und innere Kugel) bei konstanter Dichte immer größer. Der Vorgang beginnt diesmal im Zentrum und führt nach außen. Das bedeutet, die kleine Masse nimmt auf Grund der Entfernung vom Zentrum zu und wird schwerer. Diese Massezunahme wird in eine Rotverschiebung umgerechnet.

Zur Ermittlung der kosmologischen Rotverschiebung wird die Gleichung (2.9) aus [3] (J. Altenbrunn, Die Relativitätstheorie ohne Singularitäten) verwendet. Diese Gleichung beschreibt die Veränderung zweier Massen durch die Veränderung der Entfernung zueinander und lautet:

$$\Delta m = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r \quad (2.9) \text{ aus [3]}$$

m_1 ist die Masse der zentralen Kugel und der innenliegenden Kugelschalen. m_1 ist sehr groß gegenüber der Testmasse m_2 . Die Masse m_1 ändert sich fast nicht durch die Zunahme der potentiellen Energie, sondern fast nur durch die Zunahme des Durchmessers der inneren Kugel und der innenliegenden Kugelschalen. Deshalb ist m_1 eine Funktion von r . Über die als konstant vorausgesetzte Dichte D der Materie wird die Masse m_1 ausgerechnet :

$$(3.1) \quad m_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot D \quad (\text{Masse} = \text{Kugelvolumen} \cdot \text{Dichte})$$

Die Gleichung (3.1) setzt man in die Gleichung (2.9) aus [3] ein, bringt m_2 nach links und erhält :

$$(3.2) \quad \frac{1}{m_2} \cdot \Delta m = \frac{G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot D \cdot \Delta r$$

Die Gleichung (3.2) kann man vereinfachen zu :

$$(3.3) \quad \frac{1}{m_2} \cdot \Delta m = \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r}{3 \cdot c^2} \cdot \Delta r$$

Die Gleichung (3.3) muß man als Integral formulieren :

$$(3.4) \quad \int \frac{1}{m_2} dm = \int \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r}{3 \cdot c^2} dr$$

Die Integrale der Gleichung (3.4) lauten :

$$(3.5) \quad \ln(m_2) = \frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2} + k$$

k ist die Integrationskonstante. Um m_2 wieder einzeln zu haben muß man die Gleichung e hoch nehmen und man erhält dann :

$$(3.6) \quad m_2 = e^{\left(\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2} + k \right)}$$

Die Integrationskonstante e^k ersetzt man durch k_2 und zieht sie dadurch aus dem Exponenten. Dann erhält man :

$$(3.7) \quad m_2 = k_2 \cdot e^{\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}}$$

Die Konstante k_2 ersetzt man durch m_{20} . m_{20} soll die ursprüngliche Masse m_2 ohne jede zusätzliche potentielle Energie sein. Man erhält :

$$(3.8) \quad m_2 = m_{20} \cdot e^{\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}}$$

Die Gleichung (3.8) beschreibt die Zunahme einer Testmasse in einem System entsprechend Bild 2 durch die Bewegung weg vom Zentrum.

Die Gleichung für die Rotverschiebung an einer Masse im Kapitel 3 von [3] war :

$$z = 2 \cdot \left(\frac{m_{KO}}{m_{KA}} - 1 \right) \quad (3.5) \text{ aus [3]}$$

In der Betrachtung [3] Kapitel 2 wurden zwei Massen aneinander angenähert, so daß die potentielle Energie frei wurde und deshalb die Masse abnahm. Bei dieser Rechnung werden die Massen voneinander entfernt und damit nimmt auch die potentielle Energie

zu, so daß man den Bruch in der Gleichung (3.5) aus [3] umgekehrt schreiben muß. Es ergibt sich :

$$(3.9) \quad z = 2 \cdot \left(\frac{m_2}{m_{20}} - 1 \right)$$

Wenn man jetzt die Gleichung (3.8) einsetzt und m_{20} kürzt ergibt sich:

$$(3.10) \quad z = 2 \cdot \left(e^{\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}} - 1 \right)$$

Diese Gleichung (3.10) beschreibt die kosmologische Rotverschiebung über sehr große Entfernungen r von der Lichtquelle in Abhängigkeit von der Dichte D der Materie. Die Gleichung (3.10) ist die fundamentale Gleichung der Rotverschiebung im Universum.

Wie diese Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand r aussieht, ist für eine Dichte von $1,762 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ in den Bildern 3 und 4 dargestellt. Diese Dichte wurde gewählt, weil damit die beobachtete Hubble-Konstante mit der ausgerechneten Hubble-Konstanten (Gleichung (4.7)) genau übereinstimmt. In den Bildern 3 und 4 ist der Radius, an dem der Schwarzschild-Radius mit dem Kugelradius übereinstimmt ($9,55 \cdot 10^{25} \text{ m}$) eingezeichnet. In den Bildern 3 und 4 ist die Rotverschiebung in Abhängigkeit von der Entfernung zum leuchtenden Objekt dargestellt. Im Bild 3 erkennt man die starke Zunahme der Rotverschiebung z oberhalb des Schwarzschild-Radiusses unseres Universums. Bis zu einer Entfernung von 10^{27} m ($106 \cdot 10^9$ Lichtjahre) ist die Rotverschiebung z auf über 10^6 angestiegen ! Bei $100 \cdot 10^9$ Lichtjahren ($9,461 \cdot 10^{26} \text{ m}$) ist die Rotverschiebung $z = 4,24 \cdot 10^5$. Bild 4 ist ein Ausschnitt aus Bild 3, in dem nur die Rotverschiebungen z von 0,1 bis 10 dargestellt sind. Violett ist auch die Fortsetzung der quadratischen Zunahme der Rotverschiebung gekennzeichnet. Man erkennt hier auch schon eine verstärkte Zunahme der Rotverschiebung, vergleichbar zu den Veröffentlichungen über die beschleunigte Expansion. Der Grund für die verstärkte Zunahme der Rotverschiebung liegt aber woanders. Wenn sich ein Beobachter in $6 \cdot 10^{26} \text{ m}$ Entfernung von der Lichtquelle befindet, hat die Massekugel um die Lichtquelle eine Masse von fast

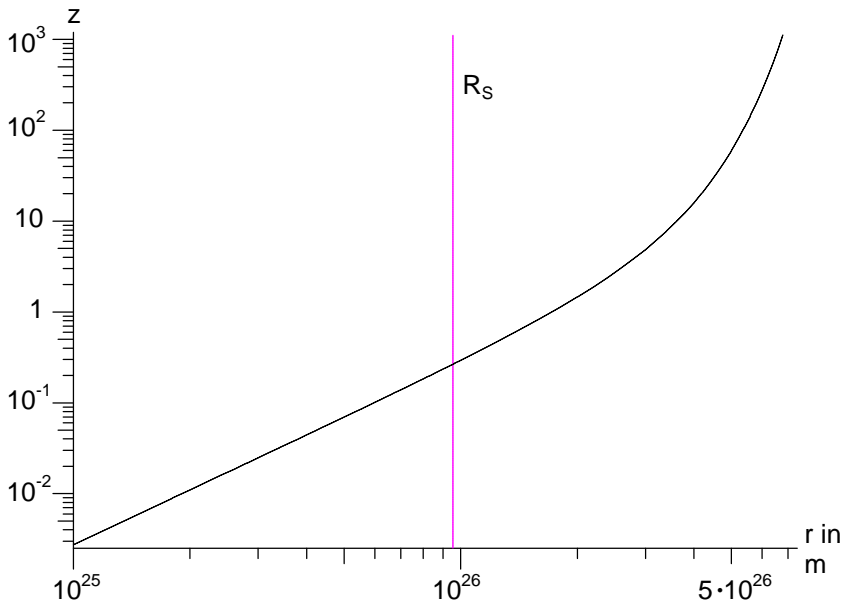


Bild 3: Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand r in Metern

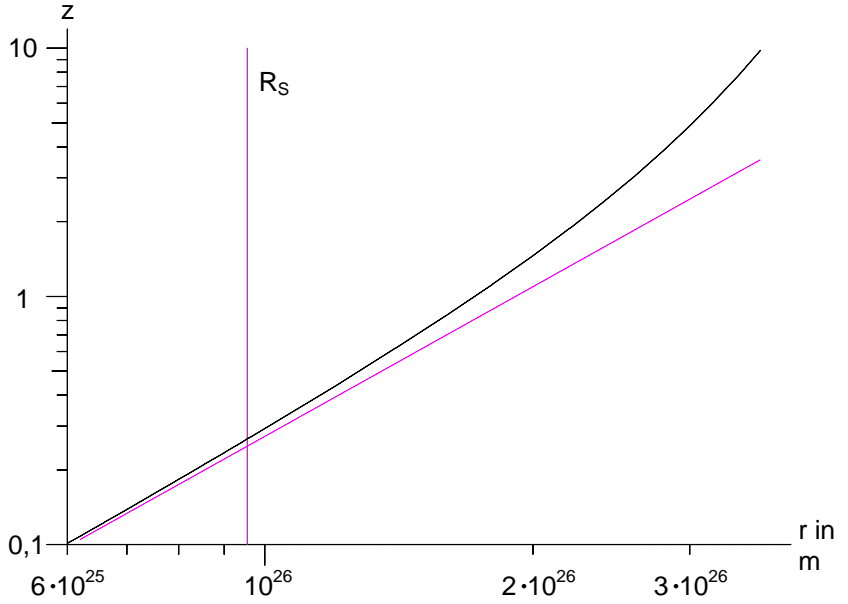


Bild 4: Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand r in Metern

$1,6 \cdot 10^{55}$ kg und damit einen Schwarzschild-Radius von $2,4 \cdot 10^{28}$ m ! Der Beobachter befindet sich also schon weit innerhalb des Schwarzschild-Radiuses der Massekugel und das ist auch der Grund für die stark verstärkte Zunahme der Rotverschiebung. Zur Erklärung dieser verstärkten Zunahme der Rotverschiebung (beschleunigte Expansion) ist keine Dunkle Energie erforderlich !

Die Rechnung ergibt eine quadratische Proportionalität zwischen Rotverschiebung z und Entfernung r , solange nicht die Entfernung vergleichbar groß wie der Schwarzschild-Radius unseres Universums ($9,55 \cdot 10^{26}$ m) wird. Aus dieser Proportionalität kann man die mittlere Dichte des Universums ausrechnen (siehe Kapitel 4). Am Schwarzschild-Radius und (von uns aus) außerhalb des Schwarzschild-Radiuses unseres Universums nimmt die Rotverschiebung sehr stark zu. Bei einer Entfernung von $100 \cdot 10^9$ Lichtjahren hat die Rotverschiebung schon Werte um 10^6 erreicht. Also ist auch die scheinbar beschleunigte Expansion ein Effekt der Allgemeinen Relativitätstheorie, und keiner realen Expansion. Es gibt daher auch keinen Anlaß, eine Dunkle Energie, die diese Expansion bewirken soll, zu postulieren. Das kann man alles mit der Allgemeinen Relativitätstheorie ausrechnen. Die Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie im Kontinuum über sehr große Entfernungen stimmen sehr gut mit den beobachteten Effekten überein, ohne jede „Dunkle Energie“, ohne jedes „Treiben in der Raumzeit“ und auch ohne „Entstehen neuen Raumes“. Einfach nur Allgemeine Relativitätstheorie pur in einem völlig statischen Universum.

4. Folgerungen aus der Rotverschiebung durch die allgemeine Relativitätstheorie

Wenn man die Rotverschiebung über die Allgemeine Relativitätstheorie erklärt, kann man allerdings aus der Rotverschiebung nicht mehr auf das Alter des Universums nach dem Urknall schließen. Den Zeitpunkt des Urknalls muß man dann auf andere Weise ermitteln. Aus der Rotverschiebung kann man nur noch auf die Entfernung zwischen Lichtquelle und Beobachter und auf die mittlere Dichte der Materie schließen.

Die kosmologische Rotverschiebung kann keinen Urknall begründen ! Die Annahme eines Urknalls mag durchaus sehr sinnvoll sein, er kann aber nicht mit der Rückrechnung eines Effektes der kosmologischen Expansion begründet werden. Aus dieser Abhandlung geht hervor, daß unser Universum im Wesentlichen (im kosmologischen Maßstab) statisch ist und nicht expandiert. Eine Art Urknall kann man daher nur noch durch die Hintergrundstrahlung begründen.

Eine weitere Folge dieser Betrachtung ist, daß auch eine gleichförmige Bewegung über sehr große (kosmologische) Entfernungen im kosmischen Kontinuum Energie erfordert. Eine Masse, die sich mit großer Geschwindigkeit durch das kosmische Kontinuum bewegt, wird allmählich abgebremst und die kinetische Energie wird in potentielle Energie umgesetzt. Dadurch wird die sich bewegendende Masse schwerer.

Im Bereich sehr kleiner Werte der e-Funktion der kosmologischen Rotverschiebung (3.10) ergibt sich eine quadratische Kurve. Sie ist in der doppelt logarithmischen Darstellung eine Gerade.

Die Näherung der Gleichung (3.10) für kleine Werte ist :

$$(4.1) \quad z = \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2} \quad (\text{Näherung bis } R_S / 10)$$

Bei einer Dichte von 10^{-26} kg/m^3 funktioniert diese Näherung sehr gut bis deutlich über 10^{25} m (siehe Bilder 3 und 4). Die Rotverschiebung eines sich entfernenden Objektes ist durch den auftretenden Doppler-Effekt für kleine Geschwindigkeiten v (und kleine Rotverschiebungen z) :

$$(4.2) \quad z = \frac{v^2}{2 \cdot c^2} \quad (\text{Näherung für kleine Geschwindigkeiten})$$

Falls man die scheinbare Fluchtgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung ausrechnen möchte, muß man die beiden z aus den Gleichungen (4.1) und (4.2) einsetzen. Man erhält :

$$(4.3) \quad \frac{v^2}{2 \cdot c^2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}$$

Diese Gleichung (4.3) kann man vereinfachen zu :

$$(4.4) \quad v^2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot G \cdot D}{3} \cdot r^2$$

Man kann die Wurzel ziehen und erhält :

$$(4.5) \quad v = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot G \cdot D}{3}} \cdot r$$

Man sieht, daß die scheinbare Fluchtgeschwindigkeit v bei kleinen Rotverschiebungen linear mit dem Abstand r steigt. Das stimmt sehr gut mit den Beobachtungen überein. Diese Gleichung (4.5) hat bei $c/10$ (30 000 km/s) schon Fehler im Bereich von 10% und bei $c/100$ (3 000 km/s) einen Fehler im Bereich von 1% auf Grund der Verwendung der Näherungen (4.1) und (4.2). Aber man kann damit relativ einfach die Hubble-Konstante (in unserer Nähe) ausrechnen :

$$(4.6) \quad \frac{v}{r} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot G \cdot D}{3}}$$

Oder, wenn man die Hubble-Konstante kennt, kann man auch die mittlere Dichte D des Universums ausrechnen :

$$(4.7) \quad D = \frac{3 \cdot v^2}{4 \cdot \pi \cdot G \cdot r^2}$$

Wenn man in die Gleichung (4.7) die Hubble-Konstante von 21 km/s je Million Lichtjahre ($9,461 \cdot 10^{21}$ m) einsetzt, erhält man eine mittlere Dichte des Universums von $1,762 \cdot 10^{-26}$ kg/m³. Das ist eine durchschnittliche Masse von etwa 10 Protonen je Kubikmeter.

Ohne die beiden Näherungen (4.1) und (4.2) ergäbe sich an Stelle der Gleichung (4.3) eine unübersichtliche und komplizierte Gleichung, die zwar nach der Dichte D , aber nicht mehr nach der Hubble-Konstanten umstellbar ist. Auch die Proportionalität zwischen Entfernung r und der scheinbaren Fluchtgeschwindigkeit v ist dann nicht mehr so einfach erkennbar. Insofern ist diese Näherung für kleine Werte sinnvoll.

Man kann auch die Gleichung (3.10) nach der Dichte D umstellen und so direkt aus der Rotverschiebung die Dichte des Universums ausrechnen, wenn man die Entfernung des Objektes kennt.

5. Literatur

Als vorausgesetzte, weiterführende und ergänzende Literatur möchte ich hier empfehlen :

- [1] Albert Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, Verlag Vieweg & Sohn
Neuaufgabe: Springer Verlag
- [2] H.Hemme, Die Relativitätstheorie, Einstein mal einfach, Anaconda Verlag GmbH
(beschreibt nur die Spezielle Relativitätstheorie)
- [3] Jürgen Altenbrunn, Die Relativitätstheorie ohne Singularitäten
Selbstverlag
(PDF im Internet auf www.altenbrunn.de/wissen.htm)
- [4] Jürgen Altenbrunn, Eine kurze Geschichte der Zeit, Teil 2, oder über die Natur von Zeit und Raum, Selbstverlag
(PDF im Internet auf www.altenbrunn.de/wissen.htm)
- [5] Andreas Müller, Lexikon der Astrophysik, aus dem Wissensportal Astrophysik
(PDF aus dem Internet)

In der aufgeführten Literatur wird teilweise auf die Erkenntnisse dieser Betrachtung natürlich noch nicht eingegangen. Dort gibt es noch schwarze Löcher, Ereignishorizonte, kosmische Zensoren u.s.w. Diese Schrift ist eine Art Auszug aus der Schrift „Gab es den Urknall ?“, die ebenfalls im Internet auf www.altenbrunn.de/wissen erhältlich ist. Diese Schrift hier ist thematisch enger. Spekulative Gesichtspunkte wurden entfernt, um wissenschaftlichen Ansprüchen zu genügen