

Jürgen Altenbrunn

GAB ES DEN URKNALL ?



Jürgen Altenbrunn
Gab es den Urknall ?
Selbstverlag

ISBN 978-3-00-041283-7

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Autors reproduziert oder in eine andere Sprache übersetzt oder übertragen werden, oder in eine von Datenverarbeitungsanlagen verwendbare Form übertragen werden. Es ist nur die unveränderte Weitergabe der im Internet erhältlichen, nicht druckbaren PDF-Datei erlaubt.

1. Auflage, Berlin im Juni 2014

Jürgen Altenbrunn

GAB ES DEN URKNALL ?

Inhalt

1. Einleitung	2
2. Wie sieht unser Universum heute aus ?	6
3. Warum kann die Annahme eines Urknalls sinnvoll sein ?	8
4. Kann es einen Beginn von Raum und Zeit geben ?	11
5. Gibt es Unendlichkeiten im Universum ?	14
6. Woher kommt die Rotverschiebung ?	16
7. Was ist der Schwarzschild-Radius ?	20
8. Liefern die Feldgleichungen wirklich Singularitäten ?	28
9. Wie sieht die Rotverschiebung in unserem Universum über sehr große Entfernungen aus ?	49
10. Wie sah unser Universum zur Zeit des Urknalls aus ?	55
11. Was wissen wir über Massekonzentrationen ? . . .	56
12. Was wissen wir über Materie ?	60
13. Wie können große Massekonzentration vergehen ?	62
14. Kann es einen weiteren Urknall geben ?	65
15. Literatur	67
16. Konstanten und Daten	68
Anhang A zur Integration der Gleichung (8.8)	69
Anhang B zur Integration der kosmologischen Rotverschiebung	72

1. Einleitung

Um es gleich vorwegzunehmen: ich war natürlich auch nicht dabei, als der Urknall möglicherweise geschehen sein soll. Der Urknall ist eine Spekulation und soll nach heutiger Betrachtungsweise schon vor fast 14 Milliarden Jahren gewesen sein. Und es gibt berechtigte Zweifel an der bisherigen Version des Urknalls. Und sehr offensichtliche Zweifel gibt es auch daran, einen Urknall als Beginn unseres Universums anzusehen. Diese Betrachtung ist, wie alles andere, was sich mit dem Urknall beschäftigt, nur eine auf Fakten begründete Theorie, eine vernünftige Möglichkeit. Hier werden aber auch die Gründe für die Annahmen, die zu den vernünftigen Möglichkeiten führen, dargelegt. Und die aufgezeigten Möglichkeiten kommen ohne solch sonderbare Zustände wie Inflation (Ausbreitung des Universums schneller als Licht), Singularitäten und dunkle Energie aus.

Die Kosmologie, also die Wissenschaft von der Entwicklung und Entstehung unseres Weltalls, in dem sich auch unsere Sonne und die Erde befinden, ist sehr interessant. Viele Menschen wollen wissen, wie sich unser Universum entwickelt hat und warum unser Universum heute so aussieht, wie wir es sehen. Dieser Teil der Kosmologie ist heute Teil unserer Weltanschauung. Das bedeutet aber häufig auch, daß nicht mehr jeder alle Zusammenhänge und Grundlagen, die zur heutigen Kosmologie geführt haben, überblicken und bewerten kann. Man muß sich also auf die Aussagen von Wissenschaftlern verlassen ! Und dabei muß man auch sehr genau unterscheiden, was ist Vermutung und was ist Tatsache. Man muß streng unterscheiden, was ist ein vermuteter Zusammenhang und was ist ein jederzeit nachprüfbarer, bestätigter Zusammenhang. Dabei ist äußerste Sorgfalt und Vorsicht geboten, sonst erlebt man einen fließenden Übergang vom Wissen zum Glauben ! Manchmal geschieht das, fast ohne das man es bemerkt ! Und es gibt Wissenschaftler, die diese Unterschiede nicht klar darlegen. Es ist aber auch erschreckend, wie viele Menschen unbewiesene Theorien von Wissenschaftlern zur unumstößlichen Tatsache machen, und die Physik damit fast zu einer Art Ersatzreligion machen. Wissenschaft ist keine Frage des Glaubens, sondern eine Frage des Wissens !

Ich möchte auch noch vor einem Problem warnen, welches heute gern heraufbeschworen wird. Man kann mit den heutigen Mitteln teilweise sehr genau messen. Dadurch ergeben sich bei unerkannten Fehlern im Meßaufbau oder auch in der Vorgehensweise sehr schnell recht problematische (unsinnige) Spekulationen. In einem solchen Fall sollte man als erstes die Meßanordnung, die Vorgehensweise und auch das Rechenmodell überprüfen. Bei einigen Problemstellungen kann man diese Messungen aber leider nicht überprüfen. In solch einem Fall wird jede Schlußfolgerung spekulativ ! Dessen **muß** man sich bewußt sein ! Ich möchte dazu nur zwei Beispiele aus der letzten Zeit erwähnen: Vor kurzem behaupteten Wissenschaftler, Neutrinos wären sehr geringfügig schneller als Licht. Die Spezielle Relativitätstheorie (sie ist heute keine Theorie mehr, sondern bestätigtes Wissen) verbietet einen Teilchentransport schneller als Lichtgeschwindigkeit. Nur Kraftfelder können sich maximal mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, aber auch nicht schneller. Sofort begannen die wildesten Spekulationen, und skurrile Theorien wurden ersonnen, wie so etwas möglich sein könnte. Inzwischen hat sich die Ausbreitung schneller als Licht als Meßfehler herausgestellt. Die Spekulationen und Theorien waren also völlig unsinnig. In einem zweiten Beispiel hat man festgestellt, daß eine Raumsonde nach einem Swingby - Manöver (ein naher Vorbeiflug der Raumsonde aus dem fernen Weltraum an der Erde) eine um etwa 5 mm/s andere Geschwindigkeit hatte, als erwartet. Bei einer Geschwindigkeit von mehr als 10 km/s betrug der Fehler also weniger als $5 \cdot 10^{-7}$ der Geschwindigkeit. Es ist schon erstaunlich, wie genau man heute messen kann. Fehler um 1 bis 2 mm/s hatte man schon öfters erlebt, aber 5 mm/s waren ungewöhnlich viel Fehler. Es begannen sofort Spekulationen, ob das Gravitationsgesetz verändert werden müsse. Es wurde nicht gefragt, ob das verwendete Massemodell (die asymmetrische ungleichmäßige räumliche Masseverteilung) der Erde möglicherweise unvollständig oder ungenau ist ! Das verwendete Modell stammte aus den sechziger oder siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts, es gibt also durchaus Anlaß zu dieser Frage. Und es wurde auch nicht gefragt, ob bei diesem Vorbeiflug möglicherweise Gasreste in der Hochatmosphäre eine Rolle gespielt haben könnten. Diese Gasreste könnten sogar aus dem Triebwerk eines anderen

Raumschiffs oder Erdsatelliten stammen. Theoretisch sind auch Rechen- oder Rundungsfehler durch das Verfahren der numerischen Integration möglich. Man sieht also, bei Ungenauigkeiten in dieser Größenordnung sind Fehlerursachen sehr schwer zu erkennen und führen häufig zu wilden, völlig unsinnigen Spekulationen.

Die meisten heutigen Wissenschaftler gehen davon aus, daß die grundsätzlichen Naturgesetze, die hier auf der Erde gelten, überall im gesamten Universum gelten, auch in sogenannten schwarzen Löchern. Diese Annahme muß natürlich auch für alle Zeit, also auch für den möglichen Urknall selbst und die Zeit davor gelten, und ist Grundlage dieser Betrachtung. Es ist aber auch erstaunlich, wie sorglos einige Wissenschaftler gegen diese Annahme verstoßen und damit bedeutende Teile unserer heutigen Physik außer Kraft setzen.

Kritiker werden sehr schnell bemerken, daß die spärlichen aber hier notwendigen Rechnungen in der klassischen Art und Weise ausgeführt sind. Es gibt hier keine Rechnung im vierdimensionalen Raum. Die Modelle werden soweit vereinfacht, daß Bewegungen möglichst nur in einer Dimension stattfinden, und die Rechnungen dadurch einfacher werden. Unter diesen Umständen genügen für die Rechnung eine räumliche Dimension und die Zeit. Wer dreidimensional rechnen möchte, kann das natürlich auch tun, es funktioniert genauso mit Vektoren, ist aber bedeutend komplizierter.

Kritiker werden ebenso bemerken, daß in dieser Betrachtung davon ausgegangen wird, daß die Gravitation eine Wirkung der Masse oder Energie ist, die im Raum verteilt ist. Dadurch wird in keiner Weise die Allgemeine oder die Spezielle Relativitätstheorie in Zweifel gezogen. Auch die Rotverschiebung wird nicht bezweifelt. Ich schreibe das hier nur deshalb, weil diese Vorgehensweise in den Augen einiger Experten an sich schon davon zeugt, daß man den Sachverhalt nicht verstanden habe. Für meine Vorgehensweise möchte ich drei Gründe angeben :

- Ich bin ein Freund von klaren Begriffen. Wenn man eine Wirkung beschreibt, sollte man sich ganz klar auf die Ursache beziehen. Und Ursache der Raumverzerrung ist die Masse oder Energie, die sich in dem Raum befindet. Es ist eine Eigenschaft der

Masse oder Energie, den umgebenden Raum zu verzerren. Es ist unsinnig, die Gravitation als geometrische Eigenschaft der Raumzeit zu bezeichnen, diese Eigenschaft hat die Raumzeit nur in der Nähe von großen Massen oder Energien. Man kann über diese Verzerrung des Raumes die Gravitation erklären, Ursache der Raumverzerrung ist jedoch in jedem Fall die Masse oder Energie. Und daher ist die Gravitation eine Eigenschaft der Masse oder Energie.

- Es ist sehr eigenartig, überall zu betonen, daß es eine Vergleichbarkeit der Feldeigenschaften von Gravitation und Elektromagnetismus gibt. Man kann beide Felder in Tensoren zusammenfassen, und damit sehr kompakte, für nicht Eingeweihte völlig unverständliche Schreibweisen erzeugen. Gleichzeitig spannt man um ein Schwarzes Loch herum einen Ereignishorizont auf, der nur für die elektromagnetische Wechselwirkung teilweise undurchlässig sein soll, aber die gravitative Wechselwirkung in allen Richtungen durchlassen soll. Das ist unverständlich und unmöglich ! Und was geschieht, wenn geladene Teilchen diesen Ereignishorizont passieren ? Warum können Gravitationswellen diesen Ereignishorizont passieren ?
- In den bekannten Lösungen der Feldgleichungen aus der Allgemeinen Relativitätstheorie existieren Singularitäten. Einstein soll sehr erschrocken gewesen sein, als er feststellte, daß die vorgeschlagenen Lösungen seiner Gleichungen Singularitäten erzeugen. Einsteins Bild von der Physik war richtig, Singularitäten sind in dem uns umgebenden Raum unmöglich ! An den Singularitäten gelten die Feldgesetze des Elektromagnetismus nicht mehr, ja es läßt sich noch nicht einmal eine Beschleunigung oder Drehbewegung beschreiben. Wie soll unter diesen Umständen der Energie- Impuls- oder Drehimpulserhaltungssatz gelten ? Auch die Maxwell'schen Gleichungen des Elektromagnetismus gelten an diesen Singularitäten nicht mehr. Wie soll dann die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ermittelt werden. Die Zulassung von Singularitäten ist eine Abkehr von dem Grundsatz, daß die uns bekannten grundlegenden physikalischen Gesetze im gesamten Universum gelten. Auch die

Behauptung einer Akausalität in (rotierenden geladenen) Kerr-Löchern ist eigentlich eine Bankrotterklärung der Physik, und macht das, was wir als Physik bezeichnen, völlig unmöglich.

Ich bitte daher die Experten, sich zuerst einmal alles genau durchzulesen, und mich danach in der Luft zu zerreißen und mir ihre Kritik mitzuteilen. Ich habe mich bemüht, den Sachverhalt systematisch und überblickbar darzulegen. Diese Betrachtung legt dar, wie man völlig ohne Singularitäten auskommen kann.

Diese Betrachtung ist nun doch sehr deutlich physiklastiger und mathematischer geworden, als es ursprünglich geplant war. Auch diese Einleitung ist sehr lang geworden. Der Gegenstand dieser Betrachtung ist erheblich umfangreicher, als es oberflächlich gesehen, erscheint. Es gibt einige Unstimmigkeiten in den gängigen Betrachtungsweisen. Und darüber muß nachgedacht werden, da daraus Konsequenzen folgen. Wer möchte, kann die Begründung einzelner Sachverhalte überspringen. Er erfährt dann allerdings nur, das etwas so ist, aber nicht, warum etwas so ist.

Noch etwas zur Systematik: die angegebenen Gleichungen sind durchnummeriert. Die laufende Nummer steht in Klammern vor der Gleichung. (7.4) bedeutet, es ist die vierte Gleichung im Kapitel 7. Falls die Nummer dahinter steht, ist es eine Wiederholung, diese Gleichung wurde schon in dem dahinterstehenden Kapitel aufgeführt.

2. Wie sieht unser Universum heute aus ?

Die Angaben, die jetzt hier gemacht werden, kann man nur als ganz grobe Abschätzung bezeichnen. Diese Angaben können sich sogar noch um etliche Größenordnungen verschieben, wenn es begründetere und genauere Methoden zur Bestimmung dieser Angaben geben wird. Diese Abschätzung bezieht sich auf die **bisherige** Betrachtungsweise unseres **sichtbaren** Universums.

Nach **bisheriger** Betrachtung hat unser **sichtbares** Universum um uns herum einen Radius von etwas mehr als $1,3 \cdot 10^{26}$ m, dem entsprechend ein Volumen von etwa 10^{79} m³. Unser **sichtbares**

Universum schätzt man auf ein Alter von fast $14 \cdot 10^9$ Jahren nach dem Urknall. Die Masse der Materie (einschließlich galaktischen Kernen, Neutronensternen, Planeten, Gas, Staub u.s.w.) des uns **sichtbaren** Universums mit $1,3 \cdot 10^{26}$ m Radius schätzt man auf etwa 10^{53} kg. Dabei ist ein sehr großer Unsicherheitsfaktor in dieser Massenangabe. Diese Schätzung muß als untere Grenze der vorhandenen Masse gelten, wenn man behaupten würde unser sichtbares Universum habe eine Masse von 10^{55} kg, könnte man das auch nicht so leicht widerlegen. Diese Schätzung geht von einer mittleren Dichte des Universums von etwa 6 Teilchen (Protonen) je Kubikmeter (10^{-26} kg/m³) aus. Außerdem diskutiert man zur Zeit über Dunkle Materie und Dunkle Energie. Beide möchte ich nicht mit in diese Betrachtung einbeziehen, sie sind zum jetzigen Zeitpunkt blanke Spekulation, und für diese Betrachtung auch nicht notwendig. Wer dennoch glaubt, die Masse einer spekulativen dunklen Materie und dunklen Energie mit einbeziehen zu müssen, der setze die mittlere Teilchendichte entsprechend herab, und er kommt zum selben Ergebnis der Gesamtmasse des sichtbaren Universums. Für große Teile dieser Betrachtung ist es nicht wesentlich, ob unser sichtbares Universum eine Gesamtmasse von 10^{52} kg oder 10^{55} kg hat. Diese Schätzung beruht vorläufig im wesentlichen auf der gemessenen Hubble-Konstanten (wird unten noch erläutert) und auf der Annahme, daß unser Universum scheinbar mit Lichtgeschwindigkeit expandiert. Dadurch sind alle hier gemachten Angaben miteinander verbunden, bei Änderung der Hubble-Konstanten ergeben sich automatisch Änderungen des Alters, des Volumens und auch der Gesamtmasse des sichtbaren Universums. Im Weiteren wird auch dargelegt, daß man auch auf andere Weise zu den selben Abschätzungen gelangen kann, oder auch muß.

Die gemachten Angaben sind Schätzwerte, sie haben sehr große Unsicherheitsfaktoren. Für unsere Betrachtung ist nur wichtig, daß man hier einen Überblick über die Größenordnungen, über die im Folgenden nachgedacht wird, gewinnt. Im Übrigen ist diese Schätzung, daß es etwa 10^{80} Teilchen (Protonen + Neutronen) in unserem sichtbaren Universum gäbe, schon sehr alt. Mein Physiklehrer in der Schule hat mir diese Abschätzung schon etwa 1970 genannt.

Es gibt Menschen, die behaupten, unser sichtbares Universum wäre bedeutend größer. Die Objekte, die wir heute in fast $14 \cdot 10^9$ Lichtjahren Entfernung sehen, sehen wir ja auch so, wie sie vor fast $14 \cdot 10^9$ Jahren aussahen. Da sich diese Objekte scheinbar fast mit Lichtgeschwindigkeit von uns entfernen, kann man behaupten, heute wären diese Objekte fast $28 \cdot 10^9$ Lichtjahre von uns entfernt. Und schon hier setzt die Spekulation ein. Es ist wahr, daß wir die Objekte in $14 \cdot 10^9$ Lichtjahren Entfernung so sehen, wie diese Objekte vor $14 \cdot 10^9$ Jahren aussahen, und diese Objekte auch dort sehen, wo diese Objekte vor $14 \cdot 10^9$ Jahren waren. Ob diese Objekte heute, $14 \cdot 10^9$ Jahre später, noch existieren oder wo sich diese Objekte heute befinden ist aber blanke Spekulation ! Das zu ermitteln setzt voraus, daß man absolut sicher ermitteln kann, wie alle Kräfte im Universum wirken, daß man absolut sicher große Entfernungen im Universum genau bestimmen kann, und daß man absolut sicher davon überzeugt ist, daß die Modelle unseres Universums zutreffen. Bei allen 3 aufgeführten Voraussetzungen sehe ich sehr große Unsicherheiten, Zweifel und Widersprüche. Und so wird jede Behauptung, wo sich diese Objekte heute befinden, zur blanken Spekulation. Für mich ist der Radius des **sichtbaren** Universums also etwa $14 \cdot 10^9$ Lichtjahre (etwa $1,3 \cdot 10^{26}$ m).

3. Warum kann die Annahme des Urknalls sinnvoll sein ?

Die Annahme eines Urknalls ist auch heute nur eine Spekulation, die sich durch einige Fakten begründen läßt. Und auch erst im Zusammenhang aller Fakten erscheint eine Art Urknall möglicherweise sinnvoll. Im Rahmen dieser Betrachtung gibt es allerdings auch Gesichtspunkte, die diese Theorie vom Urknall in der heutigen Form in Frage stellen (wird noch erläutert).

Zu Beginn des letzten Jahrhunderts erschien Albert Einstein ein statisch (dauerhaft von selbst) stabiles Weltall als sehr unwahrscheinlich. Es erschien so unwahrscheinlich, als wollte man ein Messer auf die Spitze stellen, und es würde von selbst auf der Spitze stehenbleiben. So labil ist unser Weltall nicht, aber es ergab

sich die Frage, ob unser Weltall zusammenstürzt oder expandiert. Slipher, Hubble und andere Astronomen untersuchten diese Frage zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts. Sie stellten eine Rotverschiebung der Spektrallinien der weit entfernten leuchtenden Materie fest. Je weiter ein leuchtendes Objekt von uns entfernt ist, um so weiter sind die Spektrallinien dieses Objektes ins Rote verschoben. Daraus folgerte man, daß unser Weltall zur Zeit scheinbar expandiert, und die Rotverschiebung eine Folge des Dopplereffektes der Expansionsbewegung ist. In unserer Nähe mit etwa 21 km/s je Million Lichtjahre Entfernung, und in alle Richtungen gleichmäßig. Diese Konstante ist nach Hubble benannt worden. Wenn man (linear) nachrechnet, erkennt man, daß das Universum auch heute noch scheinbar mit Lichtgeschwindigkeit expandiert.

Nun ergibt sich die Frage: Ist diese beobachtete Expansion des Weltalls eine reale Bewegung oder nur ein scheinbarer Effekt ? Eine einfache Rotverschiebung des Spektrums der Sterne ist auch mit der Allgemeinen Relativitätstheorie erklärbar. Jede Strahlung, die aus einem Massezentrum kommt, ist außerhalb dieses Massezentrums rotverschoben. Je schwerer oder dichter ein Massezentrum ist, um so mehr ist das Spektrum des ausgestrahlten Lichtes rotverschoben. Ich werde diese Erklärung ausführlicher in den Kapiteln 6 und 9 darlegen.

Es gibt auch noch andere Erklärungsversuche der Rotverschiebung wie z.B. „Ermüdung“ des Lichts durch Streuung nach Fritz Zwicky, einem Schweizer Astronomen. Diese Erklärungsversuche erscheinen heute aber konstruiert. Eine reale Expansionsbewegung, in der wir uns irgendwo mittendrin befinden, erscheint auf den ersten Blick realistischer. Aber man kann die Sache auch heute durchaus anders sehen, dazu später noch mehr in den Kapiteln 6 und 9.

In den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts hat man eine von überall herkommende konstante Hintergrundwärmestrahlung entdeckt. Diese Strahlung kommt von überall her, auch von da, wo keine Sterne oder Galaxien sind. Es ist die Strahlung eines idealen schwarzen Körpers der 2,7 Kelvin warm ist. Also sehr kalt, nur 2,7 Kelvin oberhalb des absoluten Nullpunktes. Unser Weltall ist also dort, wo wir keine Sterne sehen, nicht schwarz, sondern nur sehr

sehr dunkelrot. Wir können diese Hintergrundwärmestrahlung mit unseren Augen auch an den größten optischen Teleskopen nicht wahrnehmen. Aber man kann diese Strahlung mit Radioteleskopen messen. Und man hat sie sehr genau gemessen. Diese Strahlung, die sehr gleichmäßig von überall (aus allen Richtungen) herkommt, entspricht extrem genau der theoretischen Wärmestrahlung eines idealen schwarzen Körpers. Diese Hintergrundstrahlung ist nach bisherigen Messungen auch zeitlich konstant. Und deshalb ist die Annahme, diese Strahlung sei ein Rest der Wärmestrahlung des Weltalls, als es noch sehr heiß und dicht war, durchaus sinnvoll. Es gibt bis heute keine andere vernünftige Erklärung dieser Hintergrundstrahlung. Diese Annahme ist damit eine sehr wesentliche Stütze der Theorie vom Urknall.

Wenn man die Rotverschiebung und die Hintergrundstrahlung zusammen betrachtet, scheint es also einen schlüssigen Beleg dafür zu geben, daß die Materie in unserem Weltall einmal sehr heiß und dicht war. Die ehemals heiße und dichte Materiewolke scheint sich seit $14 \cdot 10^9$ Jahren explosionsartig auszudehnen. Nun stellte sich die Frage, was am Anfang dieser Expansion stand. Heute ist man der Meinung, daß eine gewaltige Explosion, der Urknall, am Anfang dieser Expansion stand. Die englischsprachigen Wissenschaftler sagen dazu „Big Bang“, also „Großer Knall“, und das trifft es meiner Meinung nach wesentlich besser, auch wenn die Bezeichnung Urknall deutlich kürzer und prägnanter ist. Aber die Bezeichnung Urknall suggeriert geradezu, daß der Urknall der Anfang von Allem sei, und gerade das ist der Urknall eben nicht.

Es gibt noch einen weiteren Grund, warum es eine Art „Großen Knall“ geben sollte. Dieser Grund ist aber mehr philosophischer Natur und nicht beweisbar. Bei sehr großen Massen (galaktische Kerne) sind uns zur Zeit nur Vorgänge im Universum bekannt, die die Materie immer weiter konzentrieren. Das kosmische Gas sammelt sich in Sternen, Neutronensternen und immer größeren Massekonzentrationen (Schwarze Löcher, galaktische Kerne u.s.w.). Das dauert zwar sehr lange, aber irgendwann befindet sich fast alle Materie unseres Universums in riesig großen Massekonzentrationen. Dann sieht unser Universum kalt und dunkel aus. Wir benötigen zum

Leben aber leuchtende Sterne. Neutronensterne oder Schwarze Löcher genügen uns nicht zu Leben. Ohne leuchtende Sterne ist Leben in der heutigen Art und Form unmöglich. Wenn wir unser Universum im heutigen Zustand nicht als etwas ganz Besonderes, nicht Wiederholbares betrachten wollen, muß es auch einen Vorgang geben, der die Materie aus den großen Massekonzentrationen wieder in das Weltall zurückbefördert. Und dieser Vorgang, der die Materie aus den riesigen Massenkonzentrationen in das Weltall zurückbefördert, könnte eine Art Urknall sein. Dieses letzte Argument ist aber nicht beweisbar, es bleibt also in der Art eine Spekulation.

4. Kann es einen Beginn von Raum und Zeit geben ?

Der Urknall war, falls es ihn wirklich gab, ein sehr besonderer Zeitpunkt in der Entwicklung unseres sichtbaren Universums. Aber es gab ein davor und ein danach. Der Urknall ist, auch wenn die Bezeichnung „Urknall“ das suggeriert, *nicht* der Beginn von Raum und Zeit ! Der Urknall ist kein Schöpfungsakt und kann auch keine Quantenfluktuation sein !

Naturwissenschaftler sind bestrebt, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu erkennen und diese reproduzierbaren Zusammenhänge mathematisch zu formulieren. Diese mathematisch formulierten Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge nennt man Naturgesetze. Oder anders formuliert, Naturgesetze beschreiben quantitativ und qualitativ Kausalzusammenhänge. Alle Erhaltungsgesetze sind zum Beispiel Naturgesetze. Aber auch zum Beispiel das Trägheitsgesetz $F = m \cdot a$ ist ein derartiges Naturgesetz. Man möge sich vorstellen, das Trägheitsgesetz würde nicht immer gelten, es gäbe Ausnahmen. Keine Bahn unseres Mondes, der Planeten um unsere Sonne oder unserer Sonne um das galaktische Zentrum wäre stabil. In dem Augenblick, wo man andere, als Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zuläßt, also beispielsweise den Einfluß eines Schöpfers, eines Allmächtigen oder von Wundern, kann man alle Naturwissenschaft beenden. Unsere Welt würde dadurch unerklärbar. Einflüsse eines Schöpfers oder von Wundern sind im Naturgesetz nicht vorher-

sagbar, und damit gilt keinerlei Naturgesetz, sondern nur der Wille des Allmächtigen, oder es gibt nur Wunder. Unsere Erfahrung lehrt uns, daß die Welt durch Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bestimmt wird, die man mit großem Erfolg als Naturgesetze formulieren kann. Auch wenn immer noch nicht alle Vorgänge in der Natur verstanden und erklärbar sind.

Die moderne Naturwissenschaft geht davon aus, daß die grundlegenden physikalischen Gesetze, die auf der Erde gelten, im gesamten Universum gelten. Das muß natürlich auch für alle Zeit gelten, auch für den Urknall und die Zeit davor ! Ohne vernünftigen Grund ist es sinnlos, zu behaupten, Raum und Zeit hätten erst mit dem Urknall begonnen, denn damit wird der Urknall selbst zum Schöpfungsakt ! Woher kam die enorme Masse des Universums von 10^{53} kg ? Aus dem Hemdsärmel des Schöpfers wie bei einem Zaubertrick ? Nein ! Das Universum ist kein Zaubertrick ! Die Masse des Universums war schon vor dem Urknall da (falls es ihn wirklich gab), diese Masse (oder ein Teil davon) ist dann beim Urknall nur explodiert. Und dafür hat es Ursachen gegeben. Mögliche Ursachen dafür werden im Kapitel 13 aufgezeigt.

Bei der Betrachtung des Urknalls muß man sich entscheiden, ob man einen religiösen Standpunkt bezieht, und den Urknall als Schöpfungsakt betrachtet, oder ob man eine wissenschaftliche Betrachtung ermöglichen möchte. Bei der Betrachtung als Schöpfungsakt braucht man nicht mehr nach dem Warum und dem Wie des Urknalls zu fragen. In diesem Fall gab es kein davor und die Fragen nach dem Warum und nach dem Wie sind Fragen, die man an den Schöpfer selbst stellen muß. Leider gehen bis heute auch einige Wissenschaftler vom Ursprung von Raum und Zeit im Urknall selbst aus, und damit mehr oder weniger von einem Schöpfungsakt.

Man muß davon ausgehen, daß alle wesentlichen physikalischen Gesetze beim Urknall und auch schon davor gültig waren. Das Energieerhaltungsgesetz, das Impulserhaltungsgesetz, das Drehimpulserhaltungsgesetz, das Trägheitsgesetz und so weiter. Diese grundsätzlichen physikalischen Gesetze können nur dann gelten, wenn es einen Raum gibt, in dem diese physikalischen Gesetze gelten, und wenn es einen Zeitablauf gibt. Denn zum Beispiel der

Energieerhaltungssatz sagt ja, daß die Energie (mit Masse) eines abgeschlossenen physikalischen Systems zu allen Zeiten konstant ist. Und damit ist schon klar, eine Fluktuation kann nicht Ursache der gewaltigen Masse des Universums sein, diese Masse muß schon vor dem Urknall vorhanden gewesen sein. Und dabei ist es völlig egal, ob die Masse des sichtbaren Universums 10^{50} kg oder 10^{60} kg ist. Jede Schätzung dieser Art wird sich mit Sicherheit noch ändern.

Einige Menschen behaupten, unser Universum sei eine Art Fluktuation (eine Art zufällige sehr kleine kurzfristige Schwankung) und wäre aus einem Volumen mit dem Durchmesser von 10^{-35} m (Planck-Länge) entstanden. Eine derartig kleine Länge kann man nicht mehr messen. Aber darf man deshalb behaupten, innerhalb dieser kleinen Länge kann alles passieren ? Sind 10^{53} kg und $14 \cdot 10^9$ Jahre eine sehr kleine kurzfristige Schwankung ? Kann man in diesem kleinen Volumen die Masse eines ganzen Universums verstecken ? Eine Kugel mit 10^{-35} m Durchmesser hat ein Volumen von weniger als 10^{-105} m^3 . Falls man die Masse des Universums von 10^{53} kg in eine derartig kleine Kugel pressen wollte, ergäbe sich die unvorstellbar große Dichte von 10^{158} kg/m^3 oder 10^{152} kg/cm^3 . Man möge sich bemühen, sich vorzustellen, welche exotische Erscheinungsform der Materie eine derartig hohe Dichte zuläßt. Die angegebene Dichte ist um deutlich mehr als 120 Größenordnungen (!!) oberhalb der dichtesten bekannten Materie in den Atomkernen selbst. Ich bezweifle nicht, daß es mathematisch möglich ist, derartig dichte Materie zu konstruieren, aber ich halte es für nicht sinnvoll mit derartigen Postulaten und Konstrukten bei der Erklärung des Urknalls zu arbeiten. Es gibt einfachere Lösungen dieses Problems. Auch wenn man die Planck-Länge nicht mehr messen kann, wenn 10^{53} kg Masse darin versteckt wären, würde man das sehr wohl bemerken. In der näheren und weiteren Umgebung. Das dauerhafte Erscheinen von 10^{53} kg (10^{70} Ws) verletzt sehr deutlich den Energieerhaltungssatz. Unser Universum ist keine Fluktuation !

5. Gibt es Unendlichkeiten im Universum ?

Wenn man das uns **sichtbare reale** Universum um uns herum betrachtet, gibt es keine Unendlichkeiten ! Es gibt in unserem sichtbaren Universum eine endliche Menge Energie (mit Masse) (etwa 10^{70} Js) und wir sehen bisher auch nur einen endlichen Raum. Aber wir gehen natürlich von einem unendlich großen Raum aus, in dem wir leben. Nur sehen können wir diesen unendlich großen Raum bisher nicht. Daher oben auch die Einschränkung auf die Betrachtung des real sichtbaren Universums.

Es ist nicht möglich einen Körper oder eine Kraftwirkung unendlich schnell zu machen. Es ist auch nicht möglich, eine Kraft unendlich schnell wachsen oder unendlich groß werden zu lassen. Es ist nicht möglich eine Masse unendlich dicht (ein kleines Volumen unendlich schwer) oder unendlich heiß zu machen.

Leider machen die Feldgleichungen der Gravitation und des Elektromagnetismus scheinbar Unendlichkeiten möglich. Die Kräfte dieser Feldgleichungen sind proportional mit $1 / r^2$, dem Abstand der Massen oder Ladungen. Für r gegen 0 ergeben sich dadurch unendlich große Kräfte und Energien. Es ist also zu überprüfen, ob diese Feldgleichungen durch diesen Faktor $1 / r^2$ tatsächlich Unendlichkeiten erzeugen (erfolgt im Kapitel 8).

Eine Grundforderung für die Existenz unseres Universums ist, daß Raum und Zeit kontinuierlich und differenzierbar sein müssen ! Es darf keine Singularitäten geben, weder im Raum noch in der Zeit. Und diese Forderungen gelten, wie gesagt, auch für den Urknall und auch für Schwarze Löcher ! Singularitäten sind Punkte, Linien oder Flächen im Raum mit besonderen Eigenschaften, an denen einzelne physikalische Größen unendlich oder nicht definierbar werden. Die Naturgesetze erfordern, daß unser Universum an allen Orten und zu jeder Zeit differenzierbar ist ! Das hat auch Einstein so gesehen, und soll sich daher gegen die, durch die Lösung seiner Gleichungen erzeugten Singularitäten, gewehrt haben. Einen Ort, an dem die Zeit nicht abläuft, kann es nicht geben ! Sonst läßt sich schon die Bewegung nicht mehr beschreiben. Und wie soll an einem Ort, an dem sich die Bewegung nicht beschreiben läßt, der Impuls-

erhaltungssatz gelten ? Dort, wo sich die Drehbewegung nicht beschreiben läßt, gelten auch die elektromagnetischen Feldgleichungen nicht ! Da die Naturgesetze an allen Orten und zu aller Zeit gelten sollen, gelten diese Forderungen nach Kontinuität und Differenzierbarkeit für alle Orte und für alle Zeit ! Jede Theorie, in der Singularitäten erzeugt werden, ist daher anzuzweifeln. Denn an den Singularitäten gelten die uns bekannten physikalischen Naturgesetze nicht ! An den Stellen, wo Singularitäten zugelassen werden, gelten die uns bekannten Ursache-Wirkungs-Prinzipien nicht ! Die Zulassung von Singularitäten wäre daher eine Abkehr von dem Grundsatz, daß die uns bekannten Naturgesetze im gesamten Universum gelten, daß wir prinzipiell alle Orte des Universums physikalisch beschreiben können.

Es gibt in der Realität keine unendlich dichten Massen, insofern gibt es natürlich auch keine Unendlichkeiten bei der Kraft. Und es kann Unendlichkeiten natürlich auch nicht bei der Energie geben. Schon der Energieerhaltungssatz verbietet das. Aber unbefriedigend ist es schon, daß die zur Zeit verwendeten Feldgesetze diese Singularitäten scheinbar zuzulassen zu scheinen. Und ich werde im Weiteren (im Kapitel 8) noch belegen, daß das nicht so ist, es gibt auch theoretisch keine Singularitäten !

Da es keine Punktmassen oder Punktladungen gibt, fallen diese Probleme im Normalfall nicht auf, aber Neutronensterne oder Elementarteilchen sind eben kein Normalfall mehr. Bei diesen beiden Erscheinungen werden besondere Eigenschaften von sehr dichten Massen oder Ladungen sichtbar.

Wir gehen zwar von der Unendlichkeit von Raum und Zeit aus, können aber von beidem nur einen begrenzten endlichen Teil dokumentieren und überblicken, und nur einen noch wesentlich kleineren Teil selbst erleben. In der Unendlichkeit des Universums gibt es natürlich auch unendlich viel Masse und Energie aber in dem endlichen Teil des Universums, den wir überblicken können, gibt es auch nur eine endliche Masse und Energie.

6. Woher kommt die Rotverschiebung ?

Im Kapitel 3 wurde beschrieben, daß es eine Rotverschiebung des Spektrums der weit entfernten leuchtenden Materie gibt. Hubble und andere Astronomen haben das Anfang des 20. Jahrhunderts herausgefunden. Doch woher kommt diese Rotverschiebung ? Man glaubt, 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, 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. Und wenn man die zeitliche Koordinate mit den räumlichen Koordinaten in der Raumzeit gleichsetzt, ist die Bewegung nicht 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. Eine Rotverschiebung, nur weil die Zeit vergeht, und weil die Bewegung in Raum und Zeit gleichgesetzt wurden, halte ich, gelinde gesagt, für eine gewagte Behauptung, die man belegen müßte. Dabei von einem Treiben in der Raumzeit zu sprechen, halte ich für eine Verschleierung von Zusammenhängen. Wie ein Abrakadabra in der Physik.

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 mit etwa 6 Teilchen (Protonen oder Neutronen) je Kubikmeter (10^{-26} 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 10^{-26} kg/m^3 gleichmäßig ausgefüllt. Eine Kugel



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

von $1,3 \cdot 10^{26}$ m Radius hat ein Volumen von $9,2 \cdot 10^{78}$ m³. Bei einer Dichte von 10^{-26} kg/m³ ergibt sich eine Gesamtmasse dieser Kugel von $9,2 \cdot 10^{52}$ kg. Eine Masse von $9,2 \cdot 10^{52}$ kg hat einen Schwarzschild-Radius von $1,38 \cdot 10^{26}$ m. Der Beobachter befindet sich also schon fast (von innen) am 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 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.

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 8 und 9 vorgestellt, in diesem Kapitel hier fehlen dazu noch einige Voraussetzungen. 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 Darlegung ist bisher noch kein Beweis, sondern nur die Darstellung einer Möglichkeit ! Diese Darlegung ist auch nicht vollständig ! Sie muß noch begründet werden, denn es gibt noch andere Möglichkeiten. Aber diese hier dargestellte Möglichkeit 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 (wird im Kapitel 9 gezeigt).

Diese Darlegung zeigt, daß es möglich sein könnte, die Rotverschiebung mit der gravitativen Zeitdilatation der allgemeinen Relativitätstheorie ohne jede reale Expansionsbewegung zu erklären. Die Uhren an weit entfernten Lichtquellen gehen für uns langsamer, weil sich um diese Lichtquellen herum riesige Massen befinden. Das zweite Phänomen, was zur Annahme des Urknalls geführt hat, die Hintergrundstrahlung, läßt sich damit aber nicht erklären.

7. Was ist der Schwarzschild-Radius ?

Im Kapitel 6 ist schon vom Schwarzschild-Radius die Rede gewesen. Diese Größe ist noch nicht erklärt worden. Das wird nun in diesem Kapitel nachgeholt.

Karl Schwarzschild lebte von 1873 bis 1916 und war Physiker und Astronom. Er gab 1915 als erster Lösungen der Feldgleichungen aus Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie an. Nach ihm ist dieser Radius benannt worden. Die mathematische Form des Schwarzschild-Radiuses lautet:

$$(7.1) \quad R_S = \frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2}$$

Dieser Schwarzschild-Radius R_S ist also nur von der Masse m , der Gravitationskonstanten G und der Lichtgeschwindigkeit c abhängig. Die Bedeutung dieses Radiuses soll im folgenden erläutert werden. Zuvor soll noch erwähnt werden, daß der halbe Schwarzschild-Radius R_S auch als Gravitationsradius R_G bezeichnet wird. Man sieht also, diese Radien haben eine gewisse Bedeutung.

$$(7.2) \quad R_G = \frac{G \cdot m}{c^2}$$

$$(7.3) \quad R_G = \frac{R_S}{2}$$

Zwischen zwei Massen wirkt immer eine Anziehungskraft, die Gravitation. Die Gravitationskraft zwischen zwei Massen ist:

$$(7.4) \quad F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Dabei ist F die Kraft, G die Gravitationskonstante, m_1 die eine Masse, m_2 die zweite Masse und r der Abstand zwischen beiden Massen. Da hier der freie Fall eines Objektes auf eine schwere Masse (bedeutend schwerer als das fallende Objekt) betrachtet werden soll, wird hier mit m_1 die schwere Masse bezeichnet und mit m_2 das fallende Objekt. Die Gravitationskraft der schweren Masse m_1 beschleunigt das kleine fallende Objekt m_2 immer weiter auf die schwere Masse zu. Die erreichte Endgeschwindigkeit (beim freien

Fall im Vakuum) hängt nur davon ab, wo der freie Fall beginnt (Anfangsentfernung), wo der freie Fall endet (Aufprall auf die schwere Masse m_1), und wie groß die Gesamtmasse der schweren Masse m_1 selbst ist.

Einige Beispiele: Fällt ein beliebiger Körper auf dem Mond aus einer Höhe von 10 Metern so erreicht er 5,7 m/s beim Aufprall auf die Mondoberfläche. Aus 1 km Höhe erreicht der Körper 57 m/s und aus 100 km Höhe erreicht der Körper 554 m/s. Aus einer beliebig großen Entfernung erreicht ein Körper im freien Fall auf den Mond maximal 2,38 km/s Geschwindigkeit beim Aufprall auf den Mond. Fällt ein Körper auf der Erde aus einer Höhe von 10 Metern so erreicht er 14 m/s beim Aufprall auf die Erdoberfläche. Aus 1 km Höhe erreicht der Körper 140 m/s und aus 100 km Höhe erreicht der Körper 1389 m/s. Aus einer beliebig großen Entfernung erreicht ein Körper im freien Fall auf die Erde zu maximal 11,2 km/s Geschwindigkeit beim Aufprall auf die Erde. Beim freien Fall auf die Erde bremst die Luft die fallenden Körper ab, so daß die angegebenen Geschwindigkeiten in der Atmosphäre nicht erreicht werden. Aber auf dem Mond fallen alle Körper in der beschriebenen Weise, egal ob man eine Hammer oder eine Feder fallen läßt. Auch Staub fällt auf dem Mond so zu Boden und schwebt nicht.

Größere Massen beschleunigen die frei fallenden Objekte noch erheblich weiter. Ein Objekt, das aus großer Entfernung auf die Sonne fällt, erreicht beim Eintauchen in die Sonnenoberfläche schon eine Geschwindigkeit von 618 km/s. Wenn die Dichte einer schweren großen Masse sehr groß ist, erreichen die Fallgeschwindigkeiten die Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit. Der Schwarzschild-Radius ist genau die Entfernung, bei der ein aus dem Unendlichen fallendes Objekt nach dieser vereinfachten (unkorrekten, nichtrelativistischen) klassischen Rechnung die Lichtgeschwindigkeit überschreiten würde. Das fallende Objekt kann die Lichtgeschwindigkeit natürlich nicht erreichen und schon gar nicht überschreiten. Doch davon später mehr. Aber dieser Schwarzschild-Radius ist ein Maß dafür, wo sich die Eigenschaften dieser Anordnung aus den beiden, sich anziehenden Massen deutlich verändern. Die Herleitung des Schwarzschild-Radiuses in der Allgemeinen Relativitätstheorie

erfolgt natürlich anders, aber der Schwarzschild-Radius soll hier nur als ein Maß dafür angesehen werden, wann man die klassische Physik nicht mehr benutzen kann, und wann man relativistisch denken muß. In der Allgemeinen Relativitätstheorie soll am Schwarzschild-Radius die Rotverschiebung unendlich werden. Aber für die Feststellung, wann man relativistisch denken muß genügt diese vereinfachte Darstellung.

Eine Masse von 1 kg hat einen Schwarzschild-Radius von $1,5 \cdot 10^{-27}$ m, also 17 Größenordnungen kleiner als ein Atom. Für die Erde wäre der Schwarzschild-Radius knapp 9 mm, für die Sonne wäre der Schwarzschild-Radius 2954 m. Eine Masse von 10^6 Sonnenmassen (ein kleiner galaktischer Kern) hat einen Schwarzschild-Radius von $3 \cdot 10^9$ m (10 Lichtsekunden oder 8 · Mondentfernung). Und für unser (sichtbares) Universum mit etwa 10^{53} kg Gesamtmasse beträgt der Schwarzschild-Radius etwa $1,3 \cdot 10^{26}$ m (etwas mehr als 13 Milliarden Lichtjahre). Unsere eigene Galaxie hätte bei einer geschätzten Masse von $4 \cdot 10^{41}$ kg einen Schwarzschild-Radius von etwa $6 \cdot 10^{14}$ m, das sind etwa 4000 AE (Astronomische Einheiten). Der Schwarzschild-Radius unserer Galaxie wäre also etwa vergleichbar groß wie unser Sonnensystem. Aber hier trifft eine Voraussetzung für die Wirkungen des Schwarzschild-Radiuses nicht zu, es muß alle Masse innerhalb des Schwarzschild-Radiuses konzentriert sein, um Effekte zu erzeugen. Und unsere Galaxie ist bedeutend größer, sie hat einen Radius von etwa $5 \cdot 10^{20}$ m, die Masse ist also über etwa 10^{21} m verstreut.

Damit Effekte erreicht werden können, muß sich die große Masse vollständig innerhalb des Schwarzschild-Radiuses befinden. Daraus ergibt sich, daß die notwendige Dichte bei kleinen Massen extrem ansteigt. Das ist im Bild 2 dargestellt. Im Bild 2 ist die notwendige Dichte einer Masse, um sie vollständig im Volumen einer Kugel mit dem Schwarzschild-Radius unterzubringen, dargestellt. Um eine Masse von 1kg in ein Kugelvolumen mit einem Radius von $1,5 \cdot 10^{-27}$ m zu packen ist eine Dichte von fast 10^{80} kg/m³ erforderlich. Materie dieser Dichte gibt es nicht. Für ein galaktischen Kern mit 10^6 Sonnenmassen ($2 \cdot 10^{36}$ kg) ergibt sich die notwendige Dichte mit etwa 10^8 kg/m³. Und diese Dichte ist möglich. Nicht auf der

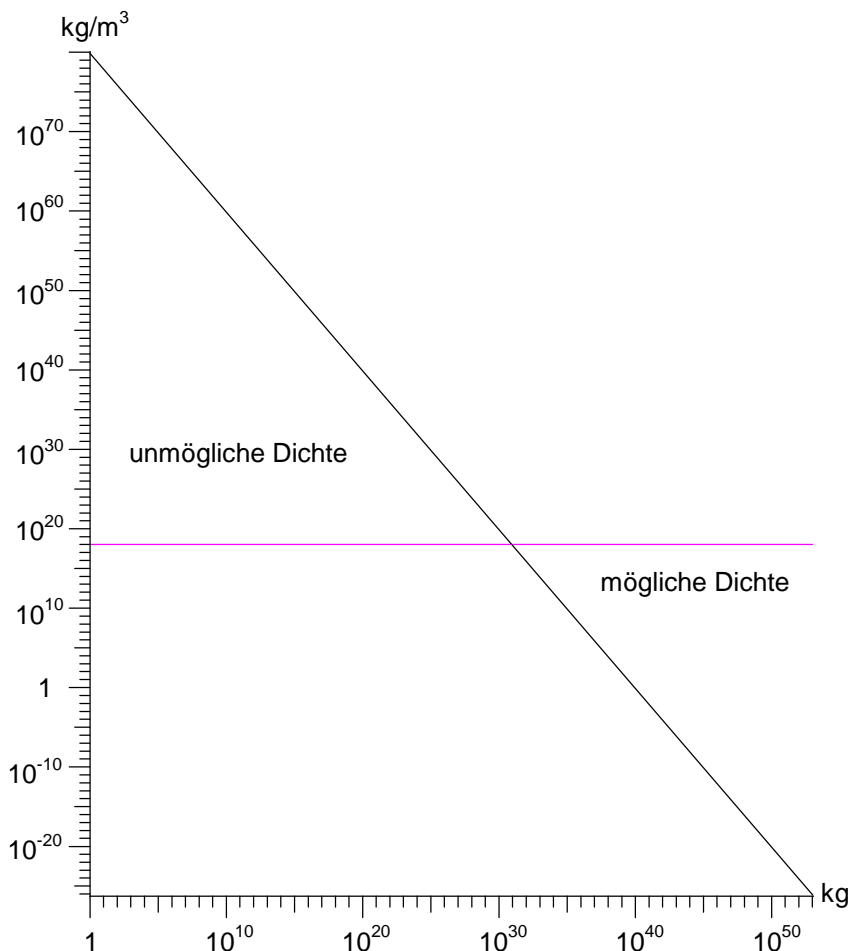


Bild 2 : Notwendige Dichte in kg/m^3 einer Masse in kg um diese Masse in einer Kugel mit dem Schwarzschild-Radius zu konzentrieren. Durch die waagerechte Linie ist eine Dichte von 10^{18} kg/m^3 markiert. Auch wenn es nicht so aussieht, diese Darstellung ist doppelt logarithmisch ! Man kann erkennen, daß kleine Massen eine enorme Dichte erfordern, um die Masse im Schwarzschild-Radius zu konzentrieren. Und für Massen deutlich unter 10^{31} kg ist es gar nicht mehr möglich diese Massen im Schwarzschild-Radius zu konzentrieren.

Erde, aber in Neutronensternen sind Dichten bis etwa 10^{18} kg/m^3 möglich. Für das gesamte Universum genügen für die notwendige Dichte nur 6 Protonen oder Neutronen je m^3 (10^{-26} kg/m^3) um einen Schwarzschild-Radius zu erzeugen, der unser gesamtes sichtbares Universum umfaßt. Das ist eine sehr geringe Dichte, die sich auf der Erde gar nicht herstellen läßt.

Der Schwarzschild-Radius wird bei einer nicht rotierenden und ungeladenen großen Masse auch Ereignishorizont genannt. Da man der Meinung ist, die Rotverschiebung einer Strahlungsquelle würde am Schwarzschild-Radius unendlich groß, ergibt sich dadurch dieser Ereignishorizont. Die Bezeichnung Ereignishorizont resultiert aus der Vorstellung, daß alle Ereignisse, die innerhalb des Ereignishorizontes stattfinden für den außenstehenden Beobachter nicht mehr wahrnehmbar sein sollen. Alle Ereignisse, die innerhalb des Ereignishorizontes stattfinden, sollen von außen nicht mehr sichtbar sein. Dabei gibt es sehr große Verwirrung darüber, was an diesem Ereignishorizont wirklich passieren soll.

Die Rotverschiebung ist definiert als :

$$(7.5) \quad z = \frac{\lambda_B}{\lambda_S} - 1 = \frac{f_S}{f_B} - 1$$

Dabei ist z die Rotverschiebung, λ_B die beobachtete Wellenlänge der Lichtquelle und λ_S die ursprüngliche Wellenlänge der Lichtquelle. f_S ist die ursprüngliche Frequenz des Lichtes und f_B ist die beobachtete Frequenz des Lichtes. Damit z am Ereignishorizont unendlich werden kann, gibt es nur eine einzige Möglichkeit : λ_B muß unendlich werden. λ_B kann nicht unendlich werden, denn die Gleichung ist mit den zugehörigen $f_B=0$ nicht ausführbar (Division durch Null). Wenn λ_B , die beobachtete Wellenlänge der Lichtquelle, unendlich wird, bedeutet das, daß die Uhr der fallenden Lichtquelle für den Beobachter von außen stehen bleibt. Damit wurde eine Singularität erschaffen. An der Stelle, an der die Zeit stehenbleibt, funktioniert unsere übliche Physik nicht mehr. An der Stelle, wo die Zeit stehenbleibt, sind keine kausalen Vorgänge mehr möglich. Die Experten mögen mir erklären, wie eine Veränderung oder eine Bewegung möglich sein soll, ohne daß die Zeit vergeht. Die Zeit wird durch den Ablauf von Kausalketten

im Raum bestimmt. Wie ist eine Reihenfolge von Ereignissen ohne Zeit möglich ? Wie ist ein heißer Kaffee ohne Hitze möglich ? Wie ist ein grüner Ball ohne Farbe möglich ? Bleibt also die Frage: wie kann sich ein Objekt über eine Grenze **bewegen**, bei der keine Zeit existiert. Eine Bewegung jeder Art ist nur durch das Vorhandensein von **Raum und Zeit** möglich (siehe [4]). Was ist hinter dieser Grenze ? Warum sollte die Zeit hinter dieser Grenze wieder weiter vergehen ?

Die Rotverschiebung durch den relativistischen Dopplereffekt einer Bewegung kann man auch angeben als :

$$(7.6) \quad z = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1$$

Auch hier ist z die Rotverschiebung, c die Lichtgeschwindigkeit, und v die Geschwindigkeit des fallenden Objektes. Auch hier wird wieder deutlich, die Rotverschiebung z wird nur für v gegen c unendlich. $v = c$ ist für die Gleichung (Division durch 0 ist verboten!) und auch für Teilchen mit Ruhemasse unmöglich, da diese Teilchen dazu unendlich viel Energie aufnehmen müßten. Im Kapitel 12 wird für die Unmöglichkeit der Bewegung von Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit auch noch eine weitere Begründung gegeben. Auch am Schwarzschild-Radius ist $v = c$ für ein ruhemassebehaftetes Objekt unmöglich. Das Stehenbleiben der Zeit für ein ruhemassebehaftetes Objekt beim Erreichen der Lichtgeschwindigkeit ist in der Relativitätstheorie beschrieben, allerdings nur als Grenzwert, der selbst nie erreicht werden kann. Für ein ruhemassebehaftetes Teilchen kann die Zeit nicht stehenbleiben !

Es ist ziemlich unsinnig und unmöglich, daß man einen Ereignishorizont definiert, an dem alle möglichen der Physik widersprechenden Vorgänge stattfinden sollen. Auch wenn man einen Bereich des Universums (noch) nicht sehen kann, ist es nicht sinnvoll, grundlos zu spekulieren, unsere normale Physik würde dort nicht gelten. Erst wenn sehr deutliche **Beweise** dazu vorliegen sollten, würde ich eine derartige Behauptung akzeptieren. Alles

andere ist unbegründete Spekulation, alles andere grenzt an Hokuspokus, an Märchen, im übertragenen Sinn.

Es gibt noch weitere Argumente, die gegen einen Ereignishorizont sprechen. Was passiert, wenn geladene Teilchen diesen Ereignishorizont passieren ? Widersinnige Dinge ! Da das geladene Teilchen hinter dem Ereignishorizont nicht mehr sichtbar ist, muß sich, wegen der Ladungserhaltung, der Ereignishorizont selbst aufladen. Die Ausbreitung dieser Aufladung auf dem Ereignishorizont muß sichtbar sein, da die Ausbreitung der Ladung auf dem Ereignishorizont auch nur mit Lichtgeschwindigkeit möglich ist. In Folge der Ausbreitung der Ladung werden also vom Ereignishorizont selbst elektromagnetische Wellen ausgesendet, obwohl der Ereignishorizont für elektromagnetische Wellen von innen nach außen undurchlässig sein soll. Am Ereignishorizont soll aber, wie oben beschrieben, die Zeit stehenbleiben. Wie kann dann der Ereignishorizont elektromagnetische Wellen ausstrahlen ? Widersinnig !

Der Schwarzschild-Radius kennzeichnet also eine Unvollkommenheit der klassischen Feldtheorie: man mache das Massezentrum beliebig klein, und man kann aus dem Fall eines kleinen Körpers auf dieses Massezentrum beliebig viel Energie gewinnen. Das kann so nicht stimmen, es ist eine Verletzung des Gesetzes von der Energieerhaltung. Die Anordnung der Massen verändert am Schwarzschild-Radius ihre Eigenschaften. Diese Änderung erfolgt natürlich nicht schlagartig sondern allmählich, schon vor dem Schwarzschild-Radius beginnend.

Man kann auch für eine elektrische Ladung oder einen magnetischen Dipol einen Schwarzschild-Radius berechnen. Auch dort gilt: die elektromagnetischen Feldgleichungen lassen bei geometrisch beliebig kleinen Ladungen oder Dipolen Singularitäten zu. Man kann scheinbar aus einer beliebig kleinen Ladung unendlich viel Energie gewinnen. Der Schwarzschild-Radius einer Elementarladung liegt bei etwas weniger als $3 \cdot 10^{-15}$ m, ein Quark mit $2/3$ Elementarladung hat einen Schwarzschild-Radius der Ladung von knapp $2 \cdot 10^{-15}$ m und ein Quark mit $1/3$ Elementarladung hat einen Schwarzschild-Radius der Ladung von knapp $1 \cdot 10^{-15}$ m . Und nun wird deutlich, warum der Schwarzschild-Radius auch in der

Elektrodynamik so wichtig ist : ein Proton hat nur einen Radius von $9 \cdot 10^{-16}$ m, die Wechselwirkungen seiner Quarks mit den benachbarten Neutronen und Protonen (mit den Nachbarquarks) liegen also zum Teil innerhalb des Schwarzschild-Radiusses der beteiligten Ladungen. Daher gehen auch im Atom die Schwarzschild-Radien der Ladungen in die Energiebilanz ein. Man könnte also durchaus etwas frech behaupten, die Starke Kernkraft ist nichts weiter als die elektromagnetische Wechselwirkung im Bereich des Schwarzschild-Radiusses der Ladung.

8. Liefern die Feldgleichungen wirklich Singularitäten ?

Ich bitte zu entschuldigen, daß dieses Kapitel lang und für einige Leser möglicherweise auch viel zu mathematisch ist. Es ist aber notwendig, weil die Schlußfolgerungen daraus tiefgreifend sind.

Hier ist bisher immer von der sogenannten klassischen Rechnung der Feldgleichungen geschrieben worden. Eigentlich ist das nicht korrekt, man müßte das als vereinfachte unvollständige Feldgleichung bezeichnen. Zumindest die Handhabung dieser Gleichungen hat man vereinfacht und bisher nur unvollständig betrachtet. So lange, wie man Abstände betrachtet, die groß gegenüber dem Schwarzschild-Radius sind, ist das auch korrekt. Wenn man jedoch in die Größenordnung des Schwarzschild-Radiusses kommt, muß man relativistisch denken. Für den Fall der potentiellen Energie (Lageenergie zweier Massen zueinander) muß man keine Bewegungsenergie betrachten. Das macht die Sache einfacher.

Wir müssen ein wenig Differential- und Integralrechnung betreiben. Das ist schon kompliziertere Mathematik und die meisten Menschen wissen davon nichts mehr, auch wenn es in der Schule einmal kurz behandelt wurde. Wenn man Wissen nicht gebraucht, vergißt man das wieder, was man einmal gelernt hat. Das geht leider auch mir so. Und die meisten Menschen benötigen keine Differentialrechnung. Deshalb, ich bitte um Verzeihung, wenn es mathematisch wird, aber es geht leider nicht anders. Ich werde mich bemühen, alles so einfach wie möglich darzustellen.

Mein Mathematiklehrer in der Schule sagte: Differenzieren ist Handwerk, Integrieren ist Kunst. Für die meisten Menschen ist beides kompliziert, aber es gibt auch Integrale, die für die Experten unlösbar sind. Mit den heutigen Mitteln (Computer) ist es möglich, fast jedes Integral über das Verfahren der numerischen Integration zu errechnen. In dieser Betrachtung sind alle Integrale über das Verfahren der numerischen Integration geprüft worden. Das Verfahren der numerischen Integration liefert streng genommen keine exakten Werte, sondern nur Näherungswerte. Man muß sich also auch über die dabei auftretenden Fehler im Klaren sein.

Noch etwas Formalistisches vorweg zur Schreibweise. Ein Δ (Delta) vor einer Größe bedeutet eine sehr kleine Änderung dieser Größe. Zum Beispiel ist Δr eine kleine Änderung des Abstandes, Δm ist eine kleine Änderung der Masse. Diese Änderungen müssen so klein sein, daß man innerhalb dieser Änderung mit sehr guter Näherung linear interpolieren kann. Im Idealfall sind diese kleinen Änderungen unendlich klein.

Potentielle Energie zweier Massen ist die Fähigkeit der beiden Massen, aus der Lage zueinander Energie zu erzeugen. Das geht nur über die Gravitationskraft. Die klassische Gleichung für die Gravitationskraft zwischen zwei Massen lautet :

$$F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (7.4)$$

F ist dabei die Kraft zwischen den beiden Massen m_1 und m_2 , G ist die Gravitationskonstante, m_1 und m_2 sind die beiden Massen und r ist der Abstand zwischen den beiden Massen(zentren). Durch das Glied $1/r^2$ wird scheinbar eine Singularität erzeugt. Für Abstände r gegen 0 erzeugt die Gleichung scheinbar unendlich große Kräfte und Energien. Aber man sollte sich die Sache genauer ansehen. Machen wir ein Gedankenexperiment ! Btreachten wir die potentielle Energie zweier Massen zu einander genauer.

Nehmen wir an, es gelänge uns, wie im Bild 3 dargestellt, zwei sehr dichte, gleich schwere Massen (Masse1 und Masse2), die sich gegenseitig anziehen, an zwei Seilzügen zu befestigen, und die Seilzüge über Umlenkrollen (R1 bis R4) zu einem Getriebe zu führen,

und über das Getriebe einen Generator zu betreiben. Die erzeugte elektrische Energie soll außerhalb dieses Systems verbraucht werden. Diese elektrische Energie kann man beispielsweise in Licht umwandeln und gleichmäßig in alle Richtungen ausstrahlen. Zur Ermittlung der Veränderung darf die Energie nicht im System bleiben.

Nun bewegen sich die beiden Massen Masse1 und Masse2 aus größerer Entfernung langsam aufeinander zu. Die dabei frei werdende potentielle Energie (Lageenergie) wird dabei vollständig im Generator in elektrische Energie umgewandelt und aus dem System der beiden Massen entfernt. Die Gesamtenergie dieser beiden Massen ist zu Beginn bei großer Entfernung der Massen :

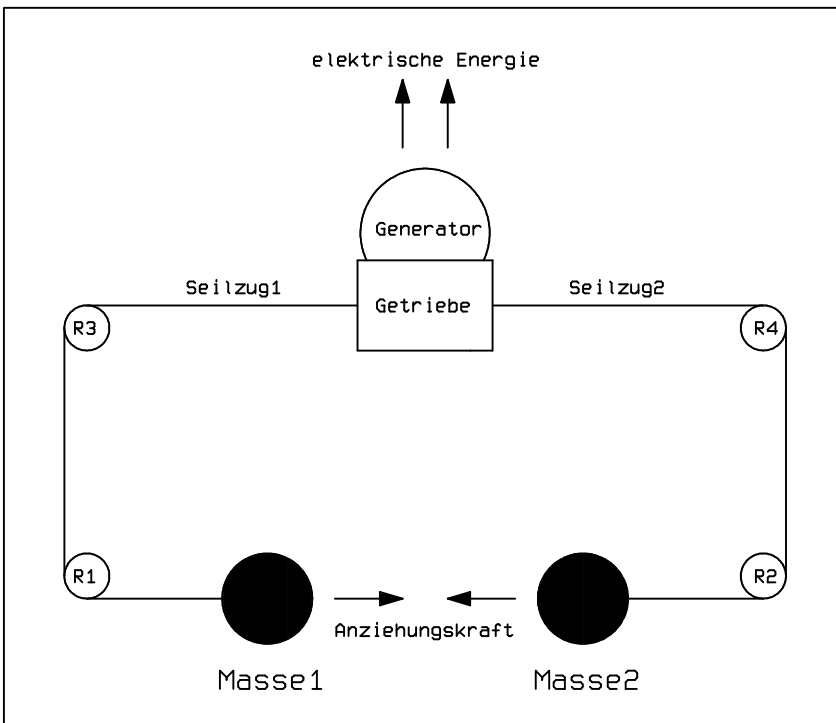


Bild 3 : Anordnung zweier Massen, deren potentielle Energie in elektrische Energie umgewandelt wird und aus dem System entfernt wird.

$$(8.1) \quad E = m_1 \cdot c^2 + m_2 \cdot c^2$$

Da die Massen gleich groß sein sollen gilt :

$$(8.2) \quad m_1 = m_2 \quad (= m)$$

und man kann für die Gesamtenergie der beiden Massen auch schreiben:

$$(8.3) \quad E = 2 \cdot m \cdot c^2$$

Die beiden Massen ziehen sich entsprechend der oben aufgeführten klassischen Gleichung (7.4) der Gravitationskraft gegenseitig an. Bei der gebremsten Bewegung aufeinander zu wird durch die Bremsung am Generator die potentielle Energie frei, die man dem System über die elektrische Energie entzieht. Diese, aus dem System freigesetzte Energie muß man natürlich von der Gesamtenergie des Systems der beiden Massen abziehen. Da dem System Energie entzogen wird, wird das Gesamtsystem der beiden Massen entsprechend der Beziehung $E = mc^2$ natürlich auch leichter.

Es gilt für die frei gewordene potentielle Energie :

$$(8.4) \quad \Delta E = F \cdot \Delta r \quad (\text{Energie} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg})$$

Dabei ist hier F die Anziehungskraft zwischen den beiden Massen, Δr ist die Änderung des Abstandes der beiden Massen zueinander, und ΔE ist die dabei freiwerdende Energie. Wenn man nun in dieser Gleichung (8.4) für die Anziehungskraft F die oben aufgeführte klassische Gleichung (7.4) für die Gravitationskraft einsetzt erhält man :

$$(8.5) \quad \Delta E = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \Delta r$$

Das ist die Abnahme der potentiellen Energie der beiden Massen gegeneinander bei ihrer Annäherung zueinander. Diese Energie wird beiden Massen je zur Hälfte entzogen. Daher gilt für $m_1 = m_2$:

$$(8.6) \quad \Delta E = 2 \cdot \Delta m \cdot c^2$$

Durch Umstellen der Gleichung (8.6) ergibt sich die Masseabnahme der beiden einzelnen Massen zu :

$$(8.7) \quad \Delta m = \frac{\Delta E}{2 \cdot c^2} \quad (\text{gilt für jede der beiden Massen !})$$

Wenn man jetzt die Energie ΔE aus der Gleichung (8.5) in die Gleichung (8.7) für die Masseabnahme einsetzt, erhält man :

$$(8.8) \quad \Delta m = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r$$

Nach dem Weg Δr ist jede der beiden Massen Masse1 und Masse2 um Δm leichter geworden. Im folgenden Rechenschritt muß man daher nicht mehr mit m_1 oder m_2 rechnen sondern mit $m_1 - \Delta m$ und mit $m_2 - \Delta m$. Die beiden Massen m_1 und m_2 werden durch die nach außen abgeführte potentielle Energie also immer kleiner (leichter) ! Im Anhang A ist die Integration dieser Gleichung dargelegt.

Diese Gleichung (8.8) ist eine fundamentale Gleichung dieser Betrachtung. Je näher sich die beiden Massen annähern, um so mehr Energie hat das System der beiden Massen abgegeben, und um so leichter wird das System. Diese Erscheinung ist aus der Atomphysik bekannt, ein Atomkern wiegt weniger als die Summe der Protonen und Neutronen. Im Bereich großer Abstände der Massen ist das so wenig Energie, daß diese Massendifferenz nicht meßbar ist. Aber wenn der Abstand in die Größenordnung des Schwarzschild-Radius kommt, sieht die Sache schon ganz anders aus. Da werden die Massendifferenzen wesentlich. Am Schwarzschild-Radius wurde in unserem Modellsystem schon etwa 1/5 aller Masse in Energie umgesetzt. An diesem Punkt hat das Gesamtsystem schon 1/5 der Masse verloren, das Gesamtsystem ist 1/5 leichter geworden. 1/5 der Gesamtenergie des Systems der beiden Massen wurde schon abgeführt. Je weiter man die beiden Massen aneinander annähert, um so mehr potentielle Energie wird frei, und um so leichter wird das System der beiden Massen. Wenn man noch weitergeht und die beiden Massen Masse1 und Masse2 als Punktmassen ansieht und in einem Punkt vereinigt, hat man die gesamte Energie des Systems der beiden Punktmassen von $2mc^2$ nach außen abgegeben. Das System der beiden Punktmassen hat keinerlei Energie und natürlich auch keine Masse mehr, es existiert nicht mehr, die beiden Punktmassen wurden vollständig zu Energie. Es entsteht also keinerlei Singularität der Kraft oder der Energie

durch diesen Gedankenversuch mit singulären Massen. Praktisch ist das natürlich nicht möglich, weil jede Masse ein Volumen hat, es gibt keine punktförmigen Massen. Es kann also niemals durch die Annäherung zweier sehr dichter und schwerer Massen aneinander alle Energie der Massen frei werden, es wird immer nur ein Teil der Energie frei. Aber es wird immer mehr Energie frei, je schwerer und dichter diese beiden großen schweren Massen sind, die sich aneinander annähern.

Ich möchte hier, damit es verständlicher und einleuchtender wird, kurz das elektrische Analogon zur Masse, die elektrische Ladung betrachten. Wenn man zwei entgegengesetzte Ladungen, die sich anziehen, betrachtet, ist der Vorgang bedeutend plausibler. Wenn man eine positive Ladung $+Q$ an eine betragslich gleichgroße negative Ladung $-Q$ annähert, ziehen sich die beiden Ladungen gegenseitig an. Durch die bei der Annäherung wirkende Kraft kann man Energie gewinnen. Durch die abgeführte potentielle Energie der Ladungen gegeneinander wird die Energie der Ladungen geringer. Das nach außen wirkende elektrische Feld wird durch die Annäherung der Ladungen geringer. Es ist auch plausibel und auch mit unserer Erfahrung vereinbar, daß, wenn man die beiden Ladungen an einem Ort vereinigt hat, keinerlei Ladung oder Energie mehr vorhanden ist. Alle verfügbare Energie ist nach außen abgeführt. Bei Massen ist das genau so, aber es widerspricht unserer Erfahrung. Warum, das wird erst klar, wenn man sich die Massen und die Entfernungen anschaut, um die es dabei geht. Noch nie hat jemand festgestellt, daß er, wenn er zwei Gewichte von je 1 kg nebeneinander auf die Waage legt, weniger als 2 kg auf der Waage hat. Unsere Waagen zeigen alle genau 2 kg an. Damit ein meßbarer Effekt entsteht, müßte man die beiden Gewichte je 1 kg auf 10^{-26} m aneinander annähern. Das ist unmöglich. Eine Masse von 1 kg ist auf der Erde mindestens ein Würfel von etwa 4 cm Kantenlänge. Die geometrische Größe der Masse ist also um rund 25 Größenordnungen zu groß um Effekte dieser Art zu zeigen. Eine Annäherung auf derartig kleine Entfernungen ist unmöglich, und daher gibt es auf der Erde auch keine meßbaren Effekte bei der Annäherung von Massen. Bei Annäherung an Neutronensterne oder an supermassive galaktische Zentren zeigen sich aber sehr deutliche Effekte.

In den Bildern 4 bis 7 sind einige Größen in Abhängigkeit von der Entfernung der beiden Massen aus dem Gedankenexperiment dargestellt. R_{S0} ist in allen Bildern der Schwarzschild-Radius der ursprünglichen Massen Masse1 oder Masse2, vor Beginn des Gedankenexperimentes. Dabei ist die Entfernung der Massen Masse1 und Masse2 immer als Verhältnis der aktuellen Entfernung r zum Schwarzschild-Radius R_{S0} der ursprünglichen Masse dargestellt. Wie im Kapitel 7 aufgezeigt wurde, wird auch in den Bildern 4 bis 7 sehr deutlich, daß sich am Schwarzschild-Radius die Eigenschaften der Anordnung der beiden Massen sehr deutlich verändern.

Der Verlauf der Masse über die Entfernung ist in den Bildern 4 und 5 dargestellt. Dabei ist die Masse als Verhältnis der aktuellen Masse m_A zur ursprünglichen Masse m_0 dargestellt. Die geringste Entfernung und auch die geringste Masse sind links unten dargestellt. Bei der im Gedankenexperiment vorgenommenen Annäherung bewegt man sich im Diagramm von rechts oben nach links unten. Die Massen Masse1 und Masse2 werden nur durch das Entfernen der potentiellen Energie bei der Annäherung immer kleiner. Im Bild 4 ist die Masse im linearen Maßstab dargestellt, im Bild 5 ist die Masse im logarithmischen Maßstab dargestellt. Es fällt auf, daß die Kurve der Anfangs scheinbar konstanten Masse um den Schwarzschild-Radius nach unten abknickt, und sich (im logarithmischen Maßstab) der Geraden :

$$(8.9) \quad m = \frac{2 \cdot c^2}{G} \cdot r$$

annähert. Diese Gerade wird nie erreicht, aber beliebig angenähert, r ist immer etwas größer, und m ist immer etwas kleiner als die Gerade.

Der Verlauf der Kraft zwischen den beiden Massen ist in den Bildern 6 und 7 dargestellt. Auch hier ist im Bild 6 die Darstellung der Kraft im linearen Maßstab und im Bild 7 ist die Darstellung der Kraft im logarithmischen Maßstab. Die Kraft verläuft im Diagramm von rechts unten auf den Grenzwert links oben zu. Es wird erstaunlicherweise deutlich, daß auch die Kraft zwischen den beiden Massen begrenzt ist. Oberhalb des Schwarzschild-Radiuses ist diese Kraft proportional zu $1/r^2$. Unterhalb des Schwarzschild-Radiuses läuft die

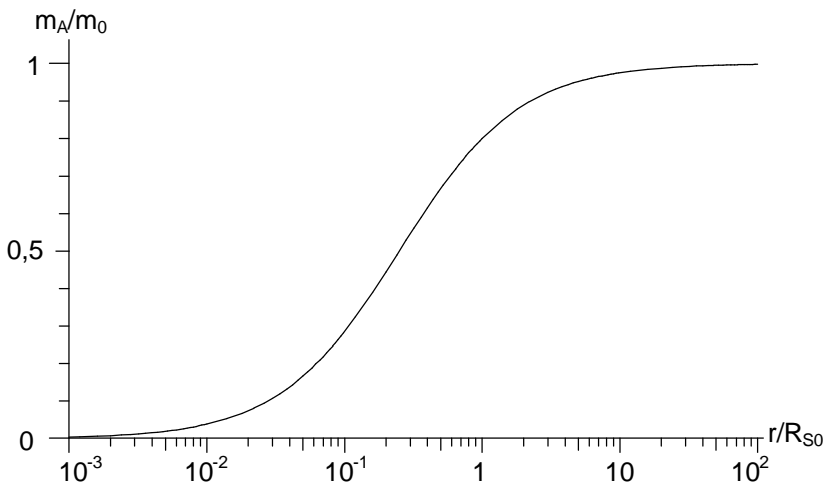


Bild 4 : Verlauf der Masse m_A/m_0 in Abhängigkeit von der Entfernung r/R_{S0} . m_A ist die aktuelle Masse, m_0 ist die Anfangsmasse, r ist die Entfernung der beiden Massen und R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der Anfangsmasse m_0 von Masse1 oder Masse2

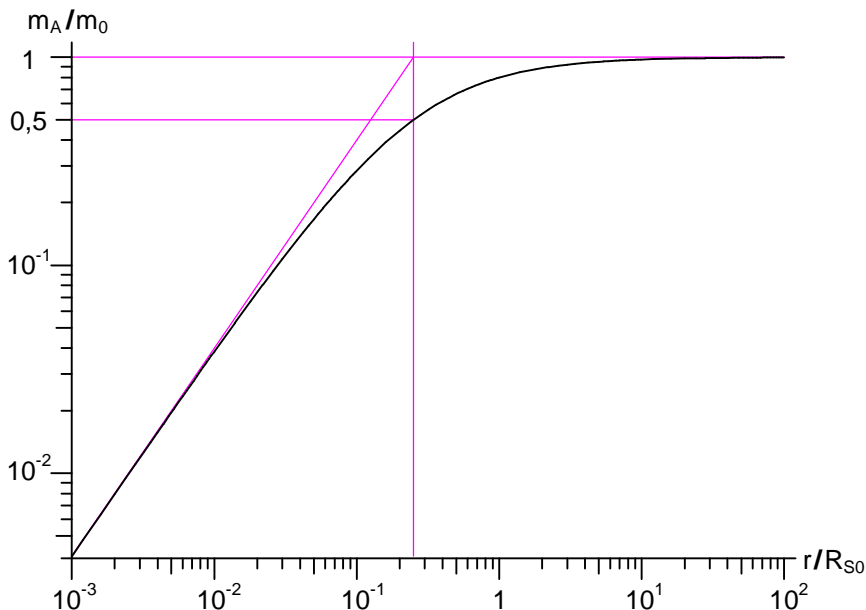


Bild 5: Darstellung der Masse m_A/m_0 in Abhängigkeit von der Entfernung r/R_{S0} im doppelt logarithmischen Maßstab. m_A ist die aktuelle Masse, m_0 ist die Anfangsmasse, r ist der Abstand der beiden Massen und R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der Anfangsmasse

Kraft auf den Grenzwert $4,8410 \cdot 10^{44}$ N zu. Etwa 4 Größenordnungen unter dem Schwarzschild-Radius ist dieser Wert auf 10^{-3} genau erreicht. Diesen Grenzwert der Kraft kann man ausrechnen mit der Gleichung:

$$(8.10) \quad F_{\text{MAX}} = \frac{4 \cdot c^4}{G} = 4,8410 \cdot 10^{44} \text{ N}$$

Eine Masse von $6,7 \cdot 10^{30}$ kg (etwas mehr als 3 Sonnenmassen) hat einen Schwarzschild-Radius von 10 km. Wenn man 2 Massen von je $6,7 \cdot 10^{30}$ kg aneinander annähern könnte, hätten sie in 1m Entfernung eine Anziehungskraft von $4,84 \cdot 10^{44}$ N. Dabei hätte die Masse jeder der beiden Massen Masse1 und Masse2 aber schon auf einen Wert unter einem Tausendstel der Ursprungsmasse abgenommen.

Das eben beschriebene gilt für jede beliebige Annäherung zweier gleich großer Massen. Wenn man zwei Massen von je 1 kg mit einem Schwarzschild-Radius von je $1,5 \cdot 10^{-27}$ m aneinander annähern würde, hätten diese beiden Massen bei 10^{-31} m Entfernung eine Anziehungskraft von $4,84 \cdot 10^{44}$ N. In 10^{-31} m Entfernung würden diese beiden Massen durch das Entfernen der potentiellen Energie aber schon unter je 1g wiegen. Auch die beiden zuerst beschriebenen Massen von je $6,7 \cdot 10^{30}$ kg hätten in 10^{-31} m Entfernung eine Anziehungskraft von $4,8410 \cdot 10^{44}$ N und würden nur noch unter 1 g wiegen. Auf Grund der maximalen Dichte von Massen ist eine Annäherung bis auf derartig kleine Entfernungen jedoch unmöglich.

Auf Grund der Massenabnahme durch das Abführen der potentiellen Energie der beiden sich annähernden Massen Masse1 und Masse2 verringert sich neben der Masse auch der aktuelle Schwarzschild-Radius R_{SA} . Im Bild 8 ist das Verhältnis vom aktuellen Schwarzschild-Radius R_{SA} zum ursprünglichen Schwarzschild-Radius R_{S0} in Abhängigkeit der von der Entfernung der Massen in r/R_{S0} dargestellt. Das Bild 8 sieht vergleichbar wie Bild 5 aus, da der aktuelle Schwarzschild-Radius ja über die Gleichung (7.1) direkt proportional zur aktuellen Masse ist. Es wird deutlich, daß durch den Massenverlust durch das Abführen der potentiellen Energie im gleichen Maß, wie der Abstand der Massen

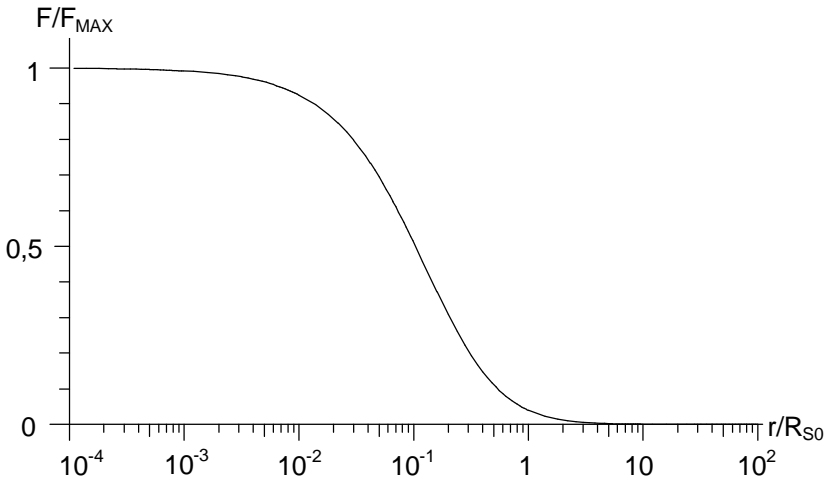


Bild 6 : Verlauf der Kraft in Abhängigkeit von der Entfernung. F_{MAX} ist die Kraft von $4,84 \cdot 10^{44}$ N, R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der ursprünglichen Masse Masse1 oder Masse2.

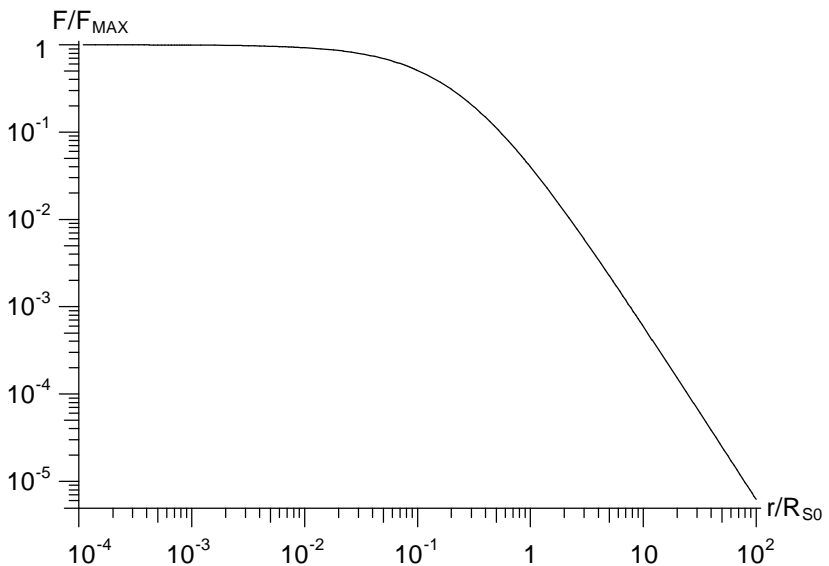


Bild 7 : Verlauf der Kraft F über die Entfernung r im doppelt logarithmischen Maßstab. Auch hier ist F_{MAX} die maximale Kraft von $4,84 \cdot 10^{44}$ N und R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der ursprünglichen Masse Masse1 oder Masse2.

Masse1 und Masse2 sinkt, auch der aktuelle Schwarzschild-Radius R_{SA} sinkt. Im Bild 9 ist die Abhängigkeit des Verhältnisses der Entfernung r der beiden Massen zum aktuellen Schwarzschild-Radius R_{SA} in Abhängigkeit von der Entfernung in r/R_{S0} . Dabei wird etwas erstaunliches deutlich: man kann zwei beliebige, gleich große Massen aus dem Unendlichen nur auf $\frac{1}{4}$ des aktuellen Schwarzschild-Radius R_{SA} annähern. Bei weiterer Annäherung sorgt der Masseverlust der Massen Masse1 und Masse2 dafür, daß auch der aktuelle Schwarzschild-Radius R_{SA} im selben Verhältnis weiter sinkt, und die Entfernung konstant bei $0,25 R_{SA}$ bleibt, egal wie weit die Massen Masse1 und Masse2 aneinander angenähert werden.

Bei der Betrachtung der Gravitationsbeschleunigung der beiden Massen Masse1 und Masse2 fällt eine unangenehme Eigenschaft dieser Gravitationsbeschleunigung auf: sie wird für jede beliebige Punktmasse am Ort der Punktmasse selbst unendlich. Nun gibt es keine realen Punktmassen, jede reale Masse hat eine endliche maximale Dichte von etwa 10^{18} kg / m^3 . Die unendliche Gravitationsbeschleunigung gibt es also nicht. Auch in unserem Gedankenexperiment mit den beiden sich nähernden Punktmassen ist, wenn sich die beiden Massen auf einem Punkt vereinigt haben, keinerlei Masse mehr vorhanden. Im dem Punkt, wo die Gravitationsbeschleunigung zwischen den beiden Massen unendlich werden könnte, ist also gar keine Masse mehr vorhanden. Der Verlauf der Gravitationsbeschleunigung der Massen Masse1 oder Masse2 ist im Bild 10 dargestellt.

Wenn man sich Bild 10 anschaut, fällt auf, daß die Gravitationsbeschleunigung der beiden Massen zueinander bis zum Nullpunkt beliebig ansteigt. In Diagrammen mit doppelt logarithmischen Achsen gibt es keinen Nullpunkt, man kann daher Bild 10 nach links beliebig fortsetzen. Es fällt im Bild 10 aber auch auf, daß der Anstieg der Beschleunigung am Schwarzschild-Radius deutlich geringer wird. Diese Verringerung des Anstiegs der Beschleunigung geht auf den Masseverlust durch das Abführen der potentiellen Energie bei der Annäherung zurück.

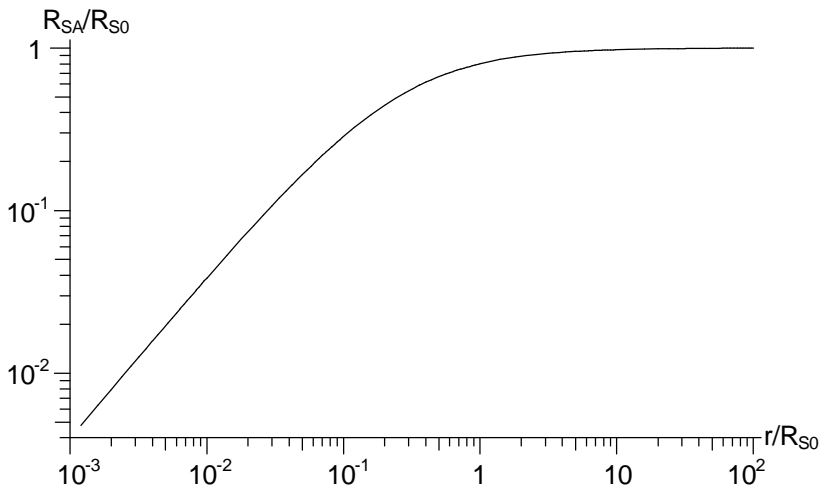


Bild 8 : Abhängigkeit des Verhältnisses des aktuellen Schwarzschild-Radiuses R_{SA} zum Schwarzschild-Radius R_{S0} der Anfangsmasse Masse1 oder Masse2 vom Abstand der Massen r in r/R_{S0}

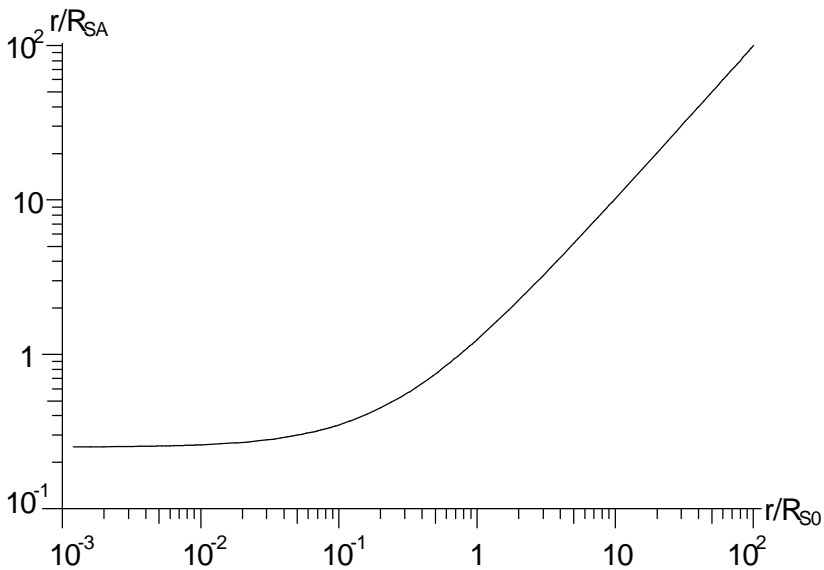


Bild 9 : Abhängigkeit des Verhältnisses des Abstandes r der Massen zum tatsächlichen Schwarzschild-Radius R_{SA} , vom Abstand r der Massen in R_{S0} .

Wie weit man sich der Unendlichkeit nähert, ist eine Frage davon, welche maximale Dichte möglich ist. Im atomaren Bereich gibt es weitere Bedingungen: welche Entfernung ist zur Wechselwirkung zwischen zwei Massen notwendig. Gibt es Objekte, die in 10^{-31} m Entfernung noch miteinander wechselwirken können und in der Größenordnung von 1g wiegen ? Ich kenne derartige Objekte nicht !

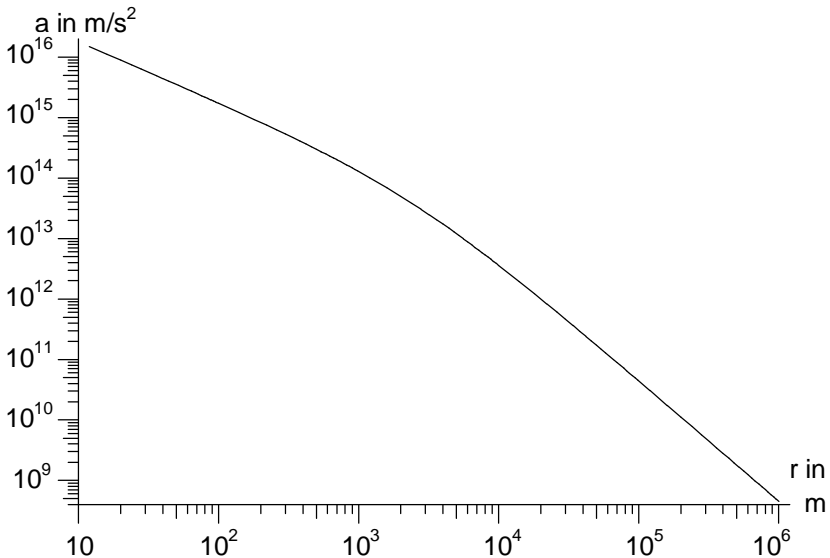


Bild 10 : Beschleunigung in m/s^2 der beiden Massen Masse1 und Masse2 aufeinander zu, wenn man sie frei fallen lassen würde in Abhängigkeit von der Entfernung der beiden Massen in m. Der angegebene Beschleunigungswert gilt nur für den Augenblick des Loslassens selbst ! Als Anfangsmasse wurde für jede Masse $6,7329 \cdot 10^{30}$ kg eingesetzt, damit ist der ursprüngliche Schwarzschild-Radius R_{S0} genau 10^4 m (10 km). Jeder freie Fall ist relativistisch !

Im Bild 7 ist gezeigt, daß die Kraft zwischen zwei beliebigen gleichgroßen Massen bei beliebiger Annäherung endlich ist und innerhalb des Schwarzschild-Radiusses gegen den Grenzwert

von $4,84 \cdot 10^{44}$ N geht. Dadurch, daß diese konstante Kraft auf die immer kleiner werdenden Massen Masse1 und Masse2 wirkt, wird die Beschleunigung dieser Massen immer größer. Das kann man allerdings nur so weit führen, wie es die Ausdehnung der Masse selbst zuläßt, weiter kann man die Massen nicht annähern. Die maximale Beschleunigung ist also immer endlich und von der maximalen Dichte der Massen abhängig.

Alle Darstellungen bisher haben sich auf unser Gedankenexperiment mit zwei gleichgroßen Massen bezogen. Diese Darstellungen waren exakt. Das folgende ist in dieser Betrachtung nicht bewiesen, sondern nur plausibel erklärt. Um zu erklären, was mit zwei unterschiedlich großen Massen passiert, möchte ich noch einmal kurz das elektrische Analogon, die elektrische Ladung heranziehen. In der Elektrizitätslehre gibt es das Gesetz von der Ladungserhaltung analog zum Gesetz von der (Massen-) Energieerhaltung. Man kann also keine Ladung einfach verschwinden lassen, es ist immer nur ein Ladungsausgleich (Entladung) oder eine Ladungstrennung (Aufladung) möglich. Wenn man eine Ladung Q_1 von 10 As hat, eine Ladung Q_2 von -1 As hat, und einen Ladungsausgleich herbeiführt, aus dem man Energie gewinnt, dann hat man als Ergebnis eine Ladung Q_3 von 9 As und aus 2 As Ladung wurde Energie erzeugt. Wenn man die geometrische Unmöglichkeit außer Betracht läßt, und eine Masse m_1 von 10 kg mit einer Masse m_2 von 1 kg in einem Punkt vereint, passiert genau das selbe. Es entsteht eine Masse m_3 von 9 kg und 2 kg Energie ($1,8 \cdot 10^{17}$ Js). Dabei wird 1 kg Energie aus dem Gravitationsfeld der kleinen Masse m_2 frei und auch 1 kg Energie aus dem Gravitationsfeld der großen Masse m_1 . Wenn $m_1 \geq m_2$ ist, bleibt immer mindestens $m_1 - m_2$ übrig. Damit ist die maximal insgesamt freiwerdende Energie also :

$$(8.11) \quad E_{\text{MAX}} = ((m_1 + m_2) - (m_1 - m_2)) \cdot c^2$$

Wenn man die inneren Klammern auflöst ergibt sich

$$(8.12) \quad E_{\text{MAX}} = (m_1 + m_2 - m_1 + m_2) \cdot c^2$$

$$(8.13) \quad E_{\text{MAX}} = 2 \cdot m_2 \cdot c^2 = 2 \cdot m_K \cdot c^2$$

Damit lassen sich jetzt auch die Massenverläufe für m_2 ausrechnen, wenn m_1 sehr viel größer ist als m_2 , also ein kleiner Körper auf eine sehr dichte und schwere Masse langsam heruntergelassen wird, und die potentielle Energie dabei aus dem System entfernt wird. In unserem Fall soll m_1 als m_G (große Masse) und m_2 als m_K (kleine Masse) bezeichnet werden. Wenn man in Gleichung (8.8) m_1 und m_2 umbezeichnet und etwas umstellt, erhält man :

$$(8.14) \quad \frac{1}{m_K} \Delta m = \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \Delta r$$

Daraus ergibt sich, wenn man m_G als Konstante betrachtet:

$$(8.15) \quad m_K = m_{K0} \cdot e^{-\frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r}} = m_{K0} \cdot e^{-\frac{R_{SG}}{4 \cdot r}}$$

Die Abhängigkeit der kleinen Masse m_K und der Kraft zwischen den Massen ist in den Bildern 11 und 12 dargestellt. In der Rechnung lagen 30 Größenordnungen Unterschied zwischen der kleinen und der großen Masse. Für die kleine Masse m_K wurde 1kg eingesetzt, für die große Masse m_G wurde $6,7329 \cdot 10^{30}$ kg eingesetzt. Die große Masse m_G ändert sich also nur unmeßbar wenig, während sich die kleine Masse m_K je nach Annäherung an die große Masse fast vollständig auflöst. Im Bild 11 ist die Abhängigkeit der kleinen Masse vom Abstand zur großen Masse dargestellt. Es fällt auf, daß auch hier die kleine Masse im Zentrum komplett abgebaut wird.

Die Kraft auf die kleine Masse von 1kg in Abhängigkeit vom Abstand zur großen Masse von $6,7329 \cdot 10^{30}$ kg wurde im Bild 12 dargestellt. Hier fällt auf, daß auch die Kraft zwischen den beiden Massen bei $0,12 R_{SG}$ auf ein Maximum läuft und danach zum Zentrum (wenn beide Massen in einem Punkt vereint wären) gegen null geht. Es gibt also keinerlei Singularität der Kraft, auch nicht bei der Verwendung von Punktmassen.

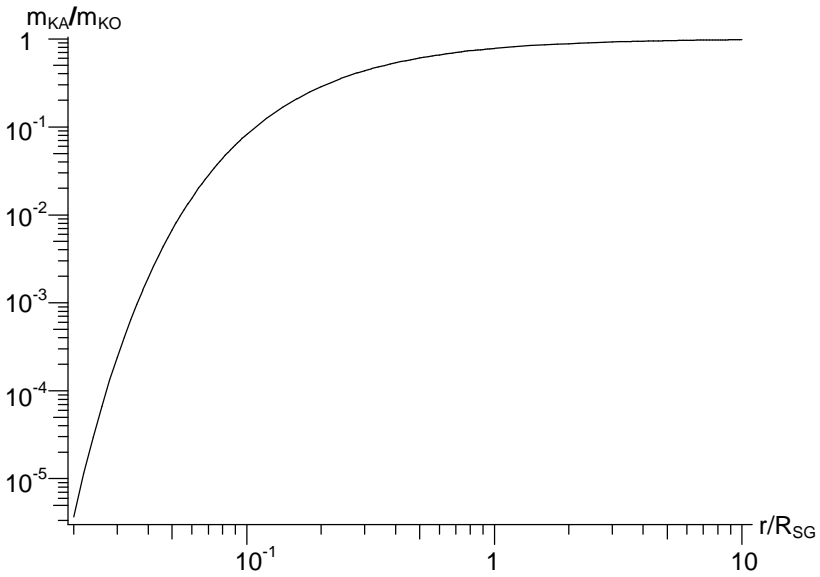


Bild 11: Abhängigkeit der kleinen Masse vom Abstand zur großen Masse

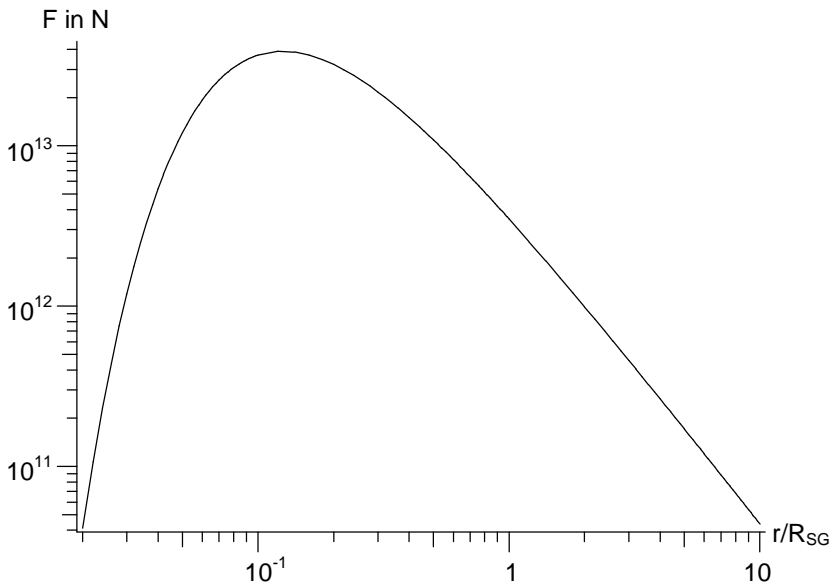


Bild 12: Abhängigkeit der Kraft auf eine kleine Masse von 1kg vom Abstand zur großen Masse von $6,7329 \cdot 10^{30}$ kg ($R_{SG}=10$ km)

Auch ein Photon (ein Lichtteilchen) kann sich im Gravitationsfeld prinzipiell nicht anders verhalten wie eine beliebige andere kleine Masse. Für einen Beobachter von Außen verliert das Photon bei der Annäherung an die große Masse Energie. Die Energie eines Photons ist :

$$(8.16) \quad E = h \cdot f$$

Dabei ist E die Energie des Photons, h ist das Plancksche Wirkungsquantum und f ist die Frequenz der Lichtwelle. Die Masse des Photons ist :

$$(8.17) \quad m = \frac{E}{c^2} = \frac{h}{c^2} \cdot f$$

$$(8.18) \quad f = \frac{c^2}{h} \cdot m$$

Man sieht, daß die Masse des Photons direkt proportional zu Frequenz des Photons ist. Wenn sich für den außenstehenden Beobachter die Energie des Photons ändert, ändert sich die Frequenz des Photons. Die Rotverschiebung ist definiert als :

$$z = \frac{\lambda_B}{\lambda_S} - 1 = \frac{f_S}{f_B} - 1 \quad (7.5)$$

Wenn man jetzt berücksichtigt, daß die Energieänderung doppelt so groß ist wie die Masseänderung ist, und man nun die Masse des Photons einsetzt ergibt sich :

$$(8.19) \quad z = 2 \cdot \left(\frac{m_{KO}}{m_{KA}} - 1 \right)$$

Damit läßt sich aus der Funktion für die kleine Masse m_K aus der Gleichung (8.15) auch die Rotverschiebung durch die große Masse m_G ausrechnen. Wenn man m_{KA} und m_{KO} aus Gleichung (8.15) einsetzt ergibt sich die Rotverschiebung z zu :

$$(8.20) \quad z = 2 \cdot \left(e^{\frac{G \cdot m}{2 \cdot c^2 \cdot r}} - 1 \right) = 2 \cdot \left(e^{\frac{R_S}{4 \cdot r}} - 1 \right)$$

Was dabei herauskommt ist in den Bildern 13 und 14 dargestellt. Es fällt auf, daß die Rotverschiebung nur für Punktmassen im Zentrum gegen unendlich geht. Für reale Massen mit endlicher Dichte gibt es auch nur eine endliche Rotverschiebung. Im Bild 14 ist neben der hier ausgerechneten Kurve für die Rotverschiebung nach Gleichung (8.20) (neue Kurve N) auch die klassische relativistische Rotverschiebung nach der Gleichung (8.21) :

$$(8.21) \quad z = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2 \cdot r}}} - 1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{R_S}{r}}} - 1$$

mit aufgezeichnet. Diese Kurve nach klassischer Rotverschiebung ist mit K bezeichnet. Die neue Kurve nach Gleichung (8.20) ist mit N gekennzeichnet. Der Schwarzschild-Radius R_S der großen Masse ist als Linie eingezeichnet. Man sieht, daß die klassische Kurve K der Rotverschiebung bei $r=R_S$ gegen unendlich geht. Es entsteht die schon im Kapitel 7 beschriebene Singularität am Schwarzschild-Radius. Wenn man die Masseänderung als Maßstab für die Energieänderung eines Photons benutzt, gibt es keinerlei Singularität am Schwarzschild-Radius. Das ist mit der Kurve N gezeigt. Die Rotverschiebung geht bei der Kurve N nur bei $r=0$ gegen Unendlich. $r=0$ ist aber wegen der endlichen Dichte der Masse unmöglich. Man erkennt auch, daß die beiden Kurven N und K oberhalb von 10 Schwarzschild-Radien auf die Gerade:

$$(8.22) \quad z = \frac{G \cdot m}{c^2 \cdot r} = \frac{R_S}{2 \cdot r}$$

zulaufen. Deutliche Unterschiede sind nur unterhalb von 10 Schwarzschild-Radien erkennbar.

Durch diese Betrachtung wird deutlich, daß es keinen Ereignishorizont und auch keine schwarzen Löcher gibt. Jeder Körper, der eine Temperatur hat, strahlt, egal wie dicht (klein und schwer) er ist. Auch die superschweren galaktischen Kerne strahlen elektromagnetische Wellen (Licht, Wärme) aus. Die Strahlung ist nur mehr oder weniger rotverschoben. Auch die Relativitätstheorie von Albert Einstein funktioniert auf diese Weise völlig ohne jede Singularität.

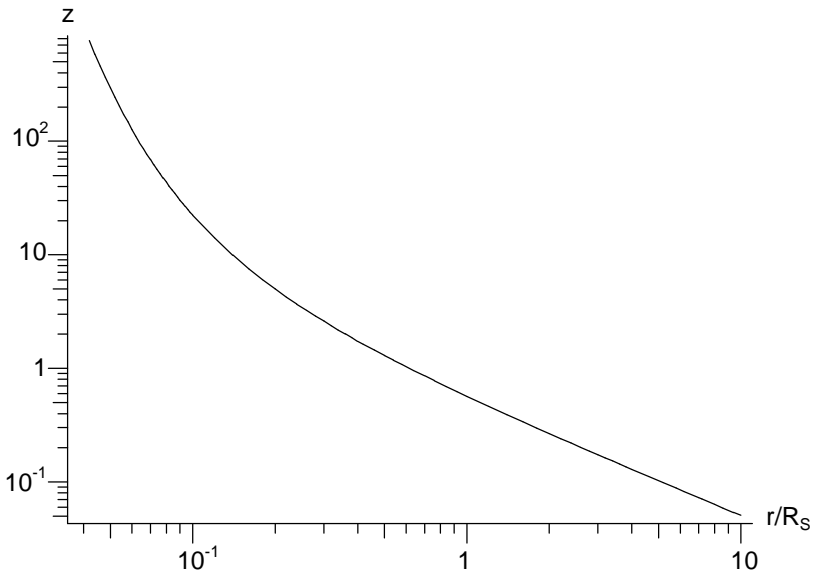


Bild 13 Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand von der großen schweren Masse

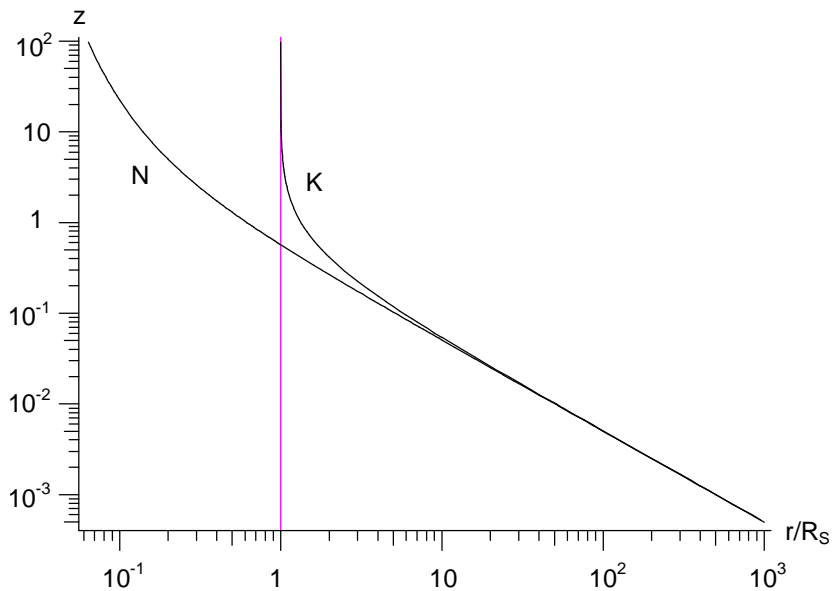


Bild 14 Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand von der großen schweren Masse N=neue Kurve K=klassische Kurve

Es wird deutlich, daß die freisetzbare potentielle Energie von der Masse und von der Dichte der beiden, sich aufeinander zu bewegend Massen abhängig ist. Ebenso wird deutlich, daß es keine Singularitäten durch Gravitationsfelder oder elektrische Ladungen gibt, die Energiefreisetzung ist immer begrenzt, auch bei theoretischen punktförmigen Massen oder Ladungen. Der Energieerhaltungssatz wird auch dadurch nicht verletzt. Die Eigenenergie einer Masse mc^2 kann man auch als potentielle Energie gegen die Unendlichkeit betrachten. Diese Energie kann man bei Punktmassen theoretisch vollständig, praktisch bei extrem dichten und schweren realen Massen unter extremen Umständen zu einem gewissen Teil freisetzen, aber nicht mehr ! Auch nach den Feldgesetzen nicht ! Auch das Gravitationspotential ist immer endlich !

Durch die maximale Dichte der Materie von etwa 10^{18} kg/m^3 ist die Annäherung von zwei Massen aneinander begrenzt. Das Problem wurde schon im Kapitel 7 auch mit Bild 2 beschrieben. Eine Kugel mit $3 \cdot 10^{-27} \text{ m}$ Durchmesser hat ein Volumen von etwa 10^{-80} m^3 . Eine Masse von 1 kg kann man nicht auf ein Volumen von 10^{-80} m^3 zusammenpressen, Materie mit einer Dichte von 10^{80} kg/m^3 gibt es nicht. Massen von 1 kg kann man daher auch nicht bis auf 10^{-27} m aneinander annähern. Der riesige Neutronenstern im Zentrum einer Galaxie kann bis zu 10^{40} kg wiegen. Eine Masse von 10^{40} kg hat einen Schwarzschild-Radius von $1,5 \cdot 10^{13} \text{ m}$. Bei einer Dichte von 10^{18} kg/m^3 hat eine Kugel dieser Masse einen Radius von $1,3 \cdot 10^7 \text{ m}$. Bei diesen enorm großen Massen ist es also durchaus möglich, zwei gleich große Massen auf deutlich weniger als ein Tausendstel des Schwarzschild-Radiusses aneinander anzunähern. Dabei werden aber auch unvorstellbare Mengen an Energie frei.

Die selbe Rechnung, wie für Massen, kann man auch für elektrische Ladungen aufmachen. Für die anziehende Kraft zwischen zwei Punktladungen gilt :

$$(8.23) \quad F = - \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \cdot \epsilon \cdot r^2}$$

Dabei ist F die Kraft zwischen den beiden Ladungen, Q1 und Q2 sind die beiden Ladungen und ϵ ist die Dielektrizität (eine Proportionalitätskonstante). Da die Ladungen positiv und negativ sein

können, ergibt sich für zwei ungleichartige Ladungen eine positive Anziehungskraft und für zwei gleichartige Ladungen eine negative Abstoßungskraft. Wir betrachten hier die Anziehungskraft zweier ungleichartiger Ladungen, da nur dabei Energie frei wird. Auch bei ihrer Annäherung soll die frei werdende Energie dem System der beiden Ladungen entzogen werden. Und auch hier gilt der Energieerhaltungssatz. Es kann dem System der beiden Ladungen nicht mehr Energie entzogen werden, als es besitzt.

Auch Energie (elektromagnetische Wellen) ist schwer und träge, hat also auch eine Masse und eine Gravitation. Aber aus der Tatsache, daß es keinen Ereignishorizont gibt, folgt sofort, daß es nicht möglich ist, derartige Massenkonzentrationen wie einen Neutronenstern nur aus Energie (elektromagnetischen Wellen) aufzubauen. Im Gegenteil, der Neutronenstern kann keinen wesentlichen Masseanteil an Energie enthalten, der größte Masseanteil sind reale Quarks und Teilchen. Strahlungsenergie dringt immer nach außen, und läßt die Energiekonzentration im Inneren abnehmen. Man muß allerdings sagen, je größer diese Massenkonzentration ist, um so weniger Energie gelangt nach draußen. Durch die Rotverschiebung des Lichtes verliert das Licht an Energie.

Eine sehr interessante Schlußfolgerung ist, daß ein Körper nicht nur durch das Beschleunigen schwerer wird (Spezielle Relativitätstheorie) sondern auch durch das Hochheben von einer großen schweren Masse schwerer wird. Die Masse wird nicht nur durch die kinetische Energie, sondern auch durch die potentielle Energie verändert. Der Körper nimmt durch das Hochheben potentielle Energie auf, und wird dadurch schwerer. Beispielsweise sind die beiden Sonden Pioneer 10 und 11 durch die Entfernung von der Sonne seit Ihrem Start von der Erde um etwa $5 \cdot 10^{-9}$ schwerer geworden. Das bedeutet, wenn eine Pioneer-Sonde 250 kg gewogen hat, ist sie inzwischen um etwa $1,2 \cdot 10^{-6}$ kg (1,2 mg) schwerer geworden. Die Pioneer-Sonden sind durch Verbrauch von Treibstoff um 28 kg leichter geworden, da fallen die 1,2mg Massezuwachs nicht auf. Diese Berechnung geht von einer Anfangsentfernung von der Sonne von $1,5 \cdot 10^8$ km (Erdbahn, 1 AE) aus, die Berechnung

erfolgte bis zu einer Endentfernung von $1,215 \cdot 10^{10}$ km (81 AE, letzte Daten Pioneer 10). Dabei wurden keine Masseveränderungen durch Geschwindigkeitsveränderungen wie durch Swingby-Manöver oder durch die Abbremsung im Gravitationsfeld berücksichtigt. Es wurde nur die Zunahme der potentiellen Energie zwischen Sonne und Pioneer Sonde betrachtet. Da die vorhandene Bewegungsenergie nun auf eine größere Masse verteilt werden muß, wurden die beiden Sonden scheinbar ein wenig abgebremst. Eine etwas geringere Bahngeschwindigkeit bedeutet auch eine etwas geringere Zentrifugalkraft. Durch die etwas erhöhte Masse werden die Sonden auch etwas stärker zur Sonne angezogen. Beide Effekte überlagern sich, und tragen möglicherweise auch mit zur Pioneer-Anomalie bei.

Der Effekt tritt auch bei Erdsatelliten auf, ist aber noch deutlich kleiner. Ein Satellit, der auf der Erdoberfläche 1000 kg wiegt, ist in der synchronen Umlaufbahn in 36000 km Höhe um etwa $3 \cdot 10^{-7}$ kg (0,3mg) schwerer. Das ist nicht mehr nachweisbar. Bei den Pioneer-Sonden fielen geringste unerwartete Beschleunigungen nur auf, weil die Sonden über Jahrzehnte antriebslos das Gravitationsfeld der Sonne verlassen haben. Über derartig lange Zeiträume summieren sich auch sehr kleine Fehler zu meßbaren Größen. Die Pioneer-Anomalie ist allerdings nach der Meinung der Experten aus heutiger Sicht ein thermischer Effekt.

Ein vergleichbarer Effekt tritt auch auf, wenn eine Masse stark schrumpft, und dabei die potentielle Energie nach außen abgeführt wird. Zum Beispiel durch Strahlung.

Die Feldgleichungen liefern bei korrekter Anwendung keine Singularitäten. Die Masse eines Körpers ändert sich durch Änderung der kinetischen oder der potentiellen Energie. Die Relativitätstheorie funktioniert bei Berücksichtigung der Masseänderung durch die potentielle Energie ohne Singularitäten ! Es gibt keinen Ereignishorizont und auch keine schwarzen Löcher !

9. Wie sieht die Rotverschiebung in unserem Universum über sehr große Entfernungen aus ?

Aus der im Kapiteln 7 und 8 gezeigten Unmöglichkeit eines Ereignishorizontes ergeben sich auch Folgen für das Sehen in die Unendlichkeit. Im Kapitel 6 wurde gezeigt, daß jede Masse, die gleichmäßig im Raum verteilt ist, einen Schwarzschild-Radius hat. Je geringer die Dichte der Masse ist, um so größer ist dieser Schwarzschild-Radius, wie im Bild 1 dargestellt wurde. Für unser Universum ergibt sich bei einer Dichte von 10^{-26} kg/m^3 ein Schwarzschild-Radius von $1,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$. Wenn man den Schwarzschild-Radius als Ereignishorizont betrachtet, bedeutet das auch, daß man nicht weiter als $1,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$ sehen kann. Denn in jeder Richtung um uns herum liegt dann eine Kugel mit 10^{53} kg Masse und mit einem Ereignishorizont zwischen uns und der Lichtquelle. Im Kapitel 8 wurde gezeigt, daß es keinerlei Ereignishorizont gibt. Deshalb kann man auch prinzipiell unendlich weit sehen. 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-Radiuses 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 ?

Um die Rotverschiebung zu ermitteln, wird die Massezunahme einer kleinen Testmasse ermittelt und mit der Frequenzverschiebung des Photons in Relation gesetzt. Dazu wird wieder Gleichung (8.8) 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 15 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

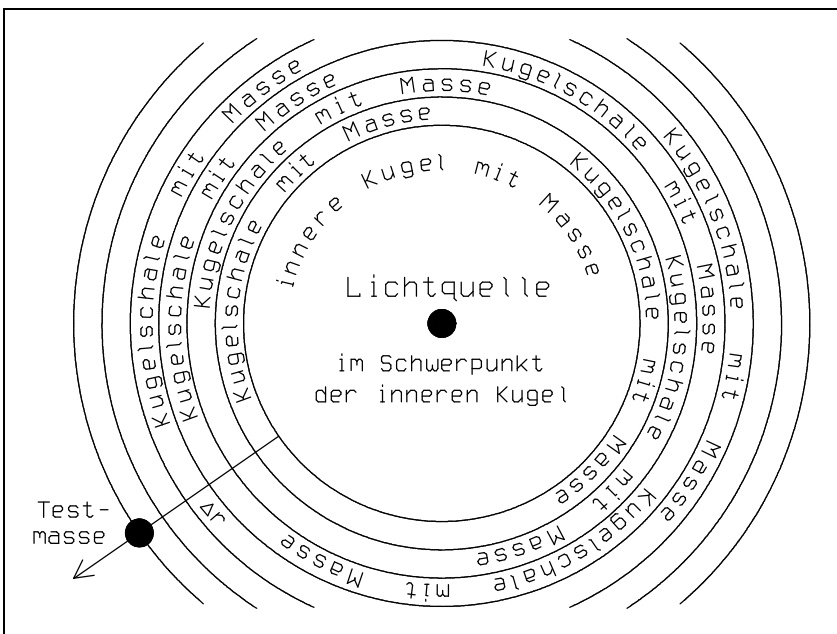


Bild 15: Bewegung der Testmasse von der Lichtquelle weg mit aufsummierung der potentiellen Energie durch die Masse aller innenliegenden Kugelschalen und der inneren Kugel

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 wieder in eine Rotverschiebung umgerechnet. Die ausführliche Integration ist in Anhang B aufgezeigt.

Als Rotverschiebung einer Lichtquelle im Abstand r im Kontinuum mit der Dichte D ergibt sich :

$$(9.1) \quad z = 2 \cdot \left(e^{\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}} - 1 \right)$$

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 16 bis 18 dargestellt. Diese Dichte wurde gewählt, weil damit die beobachtete Hubble-Konstante mit der ausgerechneten Hubble-Konstanten genau übereinstimmt. In den Bildern 16 bis 18 ist der Schwarzschild-Radius von $9,55 \cdot 10^{25} \text{ m}$ eingezeichnet. In den Bildern 16 und 17 ist die Rotverschiebung in Abhängigkeit von der Entfernung zum leuchtenden Objekt dargestellt. Im Bild 16 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 17 ist ein Ausschnitt aus Bild 16, in dem nur die Rotverschiebungen z von 0,1 bis 10 dargestellt sind. Gestrichelt ist auch die Fortsetzung der linearen 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 $1,6 \cdot 10^{55} \text{ kg}$ und damit einen Schwarzschild-Radius von $2,4 \cdot 10^{28} \text{ m}$! Der Beobachter befindet sich also schon weit innerhalb des Schwarzschild-Radiusses der Massekugel und das ist auch der Grund für die stark verstärkte Zunahme der Rotverschiebung. Zur

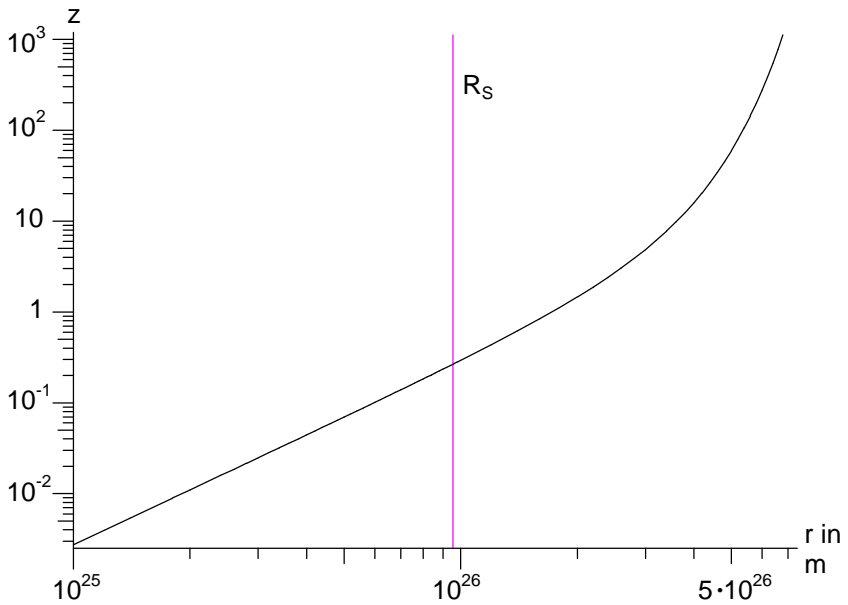


Bild 16: Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand r in Metern

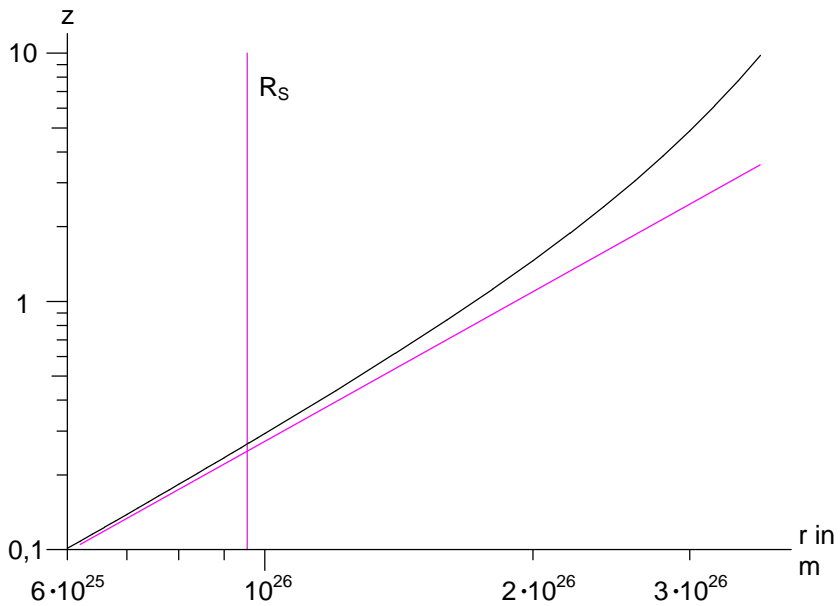


Bild 17: Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand r in Metern

Erklärung dieser verstärkten Zunahme der Rotverschiebung (beschleunigte Expansion) ist keine Dunkle Energie erforderlich !

Die verstärkte Zunahme der Rotverschiebung bedeutet aber wie im Bild 18 ersichtlich wird, keine beschleunigte Zunahme der Fluchtgeschwindigkeit, weil die Fluchtgeschwindigkeit schon im Bereich der Lichtgeschwindigkeit ist, und sich der Lichtgeschwindigkeit nur noch beliebig annähern kann. Im Bild 18 wurde die Rotverschiebung über die Gleichung (7.6)

$$z = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \quad (7.6)$$

in die scheinbare Fluchtgeschwindigkeit umgerechnet. Außerdem ist im Bild 18 die Entfernung in Lichtjahren dargestellt. In einigen Veröffentlichungen wird davor gewarnt, diese Gleichung (7.6) im kosmologischen Bereich anzuwenden. Warum ? War der Autor von der Expansion des Universums und den energetischen Konsequenzen nicht überzeugt. Ein Autor schreibt, die Gleichung (7.6) würde unsinnige Ergebnisse liefern. Warum ? Aus der Rechnung und den Bildern 16 und 17 geht hervor, daß die kosmologische Rotverschiebung nur ein Effekt der gravitativen Zeitdilatation der Allgemeinen Relativitätstheorie ist. Danach gibt es keinerlei reale Expansionsbewegung in unserem Universum. Es gibt also keine reale Expansion. Eine Umrechnung der Rotverschiebung in eine scheinbare Fluchtgeschwindigkeit, wie im Bild 18, ist nur deshalb sinnlos, weil unser Universum statisch ist. Wenn man über ein tatsächlich expandierendes Universum nachdenkt, ist diese Umrechnung durchaus sinnvoll. Ich wollte mit Bild 18 nur demonstrieren, daß die Fluchtgeschwindigkeit auch bei beliebig zunehmender Rotverschiebung nicht beliebig zunehmen kann, sondern sich nur immer mehr an die Lichtgeschwindigkeit annähert.

Die Rechnung ergibt eine absolut lineare Proportionalität zwischen scheinbarer Fluchtgeschwindigkeit und Entfernung, solange nicht die Entfernung vergleichbar groß wie der Schwarzschild-Radius unseres Universums wird. Aus dieser Proportionalität kann man die mittlere

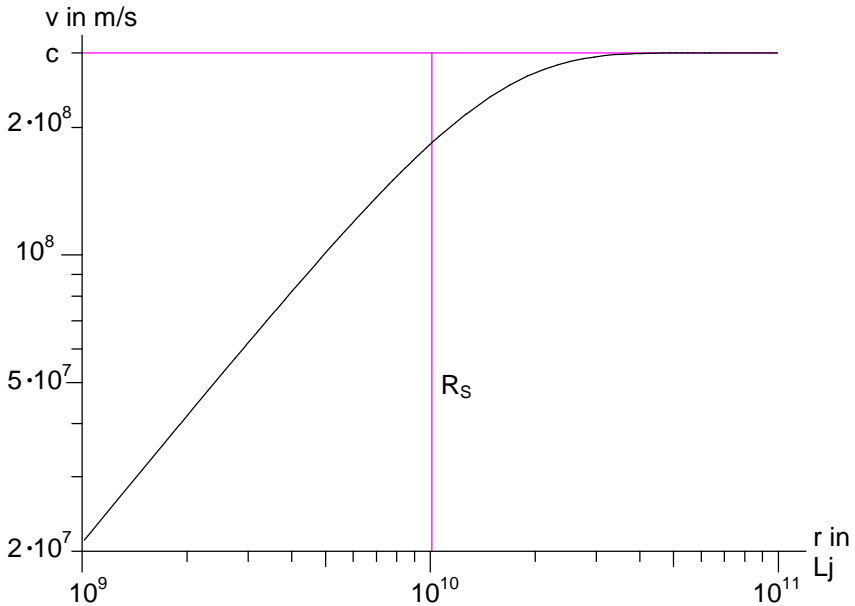


Bild 18: scheinbare Fluchtgeschwindigkeit in m/s in Abhängigkeit vom Abstand r in Lj (Lichtjahren)

Dichte des Universums abschätzen. 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 mit einem völlig statischen Universum. Wenn man die Rotverschiebung über die Allgemeine Relativitätstheorie erklärt, kann man allerdings aus der Rotverschiebung auch nicht mehr auf das Alter des Universums nach

dem Urknall schließen. Den Zeitpunkt des Urknalls muß man dann auf andere Weise ermitteln.

10. Wie sah unser Universum zur Zeit des Urknalls aus?

Wir haben in den Kapiteln 8 und 9 erfahren, daß sich die Rotverschiebung nur mit der Allgemeinen Relativitätstheorie ohne jede reale Bewegung erklären läßt. Aber die kosmische Hintergrundstrahlung läßt sich so nicht erklären. Wir erleben die Konzentration der Materie in immer größeren Massen, zum Beispiel in galaktischen Zentren. Dies kann kein unumkehrbarer Prozeß sein, sonst wäre unser Universum irgendwann in einer riesengroßen Masse konzentriert und nichts würde mehr passieren. Deshalb möchte ich hier die Spekulation um den Urknall weiterführen. Möglicherweise ergibt sich ja aus dieser Spekulation eine Möglichkeit zum Zerfall der extrem großen Massenkonzentrationen. Wenn dieser Zerfall plötzlich erfolgen würde, ergäbe sich möglicherweise auch eine Art Urknall.

Wenn eine derartig gewaltige Masse, wie die Gesamtmasse unseres sichtbaren Universums von 10^{50} kg oder 10^{60} kg in einem kleinen Volumen konzentriert ist, kann man nur eine Schlußfolgerung daraus ziehen: unser Universum war nach heutigen Vorstellungen vor dem Urknall ein unvorstellbar großer Neutronenstern. Und wir befinden uns heute immer noch in den Überresten dieses Neutronensterns, der möglicherweise explodiert ist.

11. Was wissen wir über Massekonzentrationen ?

Extreme Massekonzentrationen werden heute unter der Bezeichnung „Schwarzes Loch“ geführt. Unter einem Schwarzen Loch versteht man nach klassischer relativistischer Physik eine Masse, die so stark konzentriert ist, daß Licht welches von der konzentrierten Masse ausgesendet wird, nicht nach außen dringen kann. Am schon im Kapitel 7 beschriebenen Schwarzschild-Radius

soll sich ein Ereignishorizont befinden, den kein Licht von innen durchdringen kann. Daher auch die Bezeichnung schwarzes Loch. Der Ereignishorizont sieht nach dieser Theorie schwarz aus. Ich habe im Kapitel 8 dargelegt, daß es diesen Ereignishorizont nicht gibt. Jede Massekonzentration strahlt, je nach Größe der Konzentration mehr oder weniger rotverschoben. Es gibt keine Stelle, an der unendliche Rotverschiebung auftritt. Es gibt also keine schwarzen Löcher, nur extrem massive Sterne mit sehr großer Rotverschiebung.

Durch die Darlegungen in den Kapiteln 7 und 8 ist deutlich geworden, daß es keine Schwarzen Löcher gibt. Eine kleine Masse, die auf eine beliebig große Masse fällt, kann nie die Lichtgeschwindigkeit erreichen. Die Strahlung von der Oberfläche einer beliebig großen Masse kann immer entweichen. Die Strahlung wird nur immer langwelliger, Und es gibt einen Schwarzschild-Radius, bei dem sich nur die Eigenschaften des Kraftfeldes ändern. Dieser Schwarzschild-Radius ist aber eben nur ein Maß dafür, wo sich die Eigenschaften des Kraftfeldes ändern, und keinerlei Ereignishorizont.

Niemand konnte bisher eine extreme Massekonzentration aus der Nähe betrachten. Man konnte daher bisher auch nicht prüfen, ob eine derartige Massekonzentration einen Ereignishorizont besitzt oder nicht. Und das wird auch noch eine Weile so bleiben. Die nächste sehr große Massekonzentration (etwa 10^6 Sonnenmassen = 10^{36} kg) befindet sich im Zentrum unserer Galaxie, sie ist aber durch Staub und Gas nicht im optischen Spektrum sichtbar. Auch Neutronensterne konnte man bisher nicht direkt beobachten, denn sie sind viel zu klein, um sie als Fläche im Fernrohr zu sehen. Man weiß, wo sich einige Neutronensterne befinden, aber man kann nicht in einigen hundert oder tausend Lichtjahren Entfernung eine Strecke von 10 km oder 100 km sichtbar machen. Man kann bisher, außer unserer Sonne, keinen einzigen Fixstern flächig auflösen. Daher kann man die Existenz oder Nichtexistenz eines „Ereignishorizontes“ zur Zeit leider nicht durch Beobachtung belegen oder widerlegen.

Das, was jetzt folgt, ist reine Überlegung, die durch Fakten gestützt wird.

Ein Neutronenstern entsteht wenn ein genügend schwerer Stern am Ende seiner Sternentwicklung in sich zusammenfällt. Ein Stern ist eine sehr heiße Gaskugel, die durch ihre Wärme viel Energie ausstrahlt, in deren Innerem aber auch durch Kernfusion viel Energie frei wird. Je größer der Stern ist, desto schneller läuft die Kernfusion im Inneren ab. Ein kleinerer Stern als die Sonne kann bis zu 100 Milliarden Jahre strahlen, bevor er zum weißen Zwerg wird. Die Sonne strahlt vermutlich etwa 10 Milliarden Jahre und wird dann zum weißen Zwerg. Ein 50mal schwererer Stern als die Sonne strahlt extrem heiß und intensiv und hat seinen Kernbrennstoff schon nach wenigen Millionen Jahren aufgebraucht. Es ist aber nicht beliebig viel Material zur Kernfusion vorhanden. Wenn im Inneren des Sterns aus dem vorhandenen Wasserstoff Eisen aufgebaut wurde, erlischt die Kernfusion, weil durch den Aufbau noch schwerer Atomkerne keine Energie mehr frei wird. Damit wird im Inneren des Sterns keine neue Energie mehr freigesetzt. Der heißeste Teil im Inneren des Sterns (dieser Teil ist etliche Millionen Grad heiß), in dem bisher die Energie freigesetzt wurde, beginnt sich abzukühlen. Durch die Abkühlung sinkt der thermische Gegendruck im Inneren des Sterns und der Stern beginnt in sich zusammenzufallen. Auf Grund der Erhöhung der Dichte bei der Kontraktion nimmt nun auch der Druck im Inneren des Sterns gewaltig zu, ebenso aber auch die Schwerkraft des Kerns im Inneren des Sterns.

Was dann passiert, hängt stark von der Masse des ursprünglichen Sterns ab. Unsere Sonne wird voraussichtlich als kleiner weißer Zwerg, eine kleine, heiße, extrem dichte Gaskugel, enden. Diese Gaskugel wird nur etwa vergleichbar groß sein, wie unsere Erde, nur sehr viel schwerer und sehr viel heißer. Im Inneren des Weißen Zwerges ist das Gas bedeutend dichter (schwerer), als jedes Material, was auf der Erde existiert. Wenn der Stern genügend schwer war, nimmt der Druck im Inneren des Sterns so stark zu, daß die Abstoßungskräfte der Atomkerne im Inneren des Sterns überwunden werden, und das Innere des Sterns schlagartig zu einem Neutronenstern in sich zusammenfällt. Durch die frei werdende potentielle Energie werden die äußeren Teile des Sterns so stark erhitzt, daß sie mit einer gewaltigen Explosion weggesprengt werden. Diese Explosion nennt man eine Supernova. Der innere Teil des

Sterne fällt dabei auf einen Durchmesser von wenigen Kilometern zusammen. Diese kompakte Kugel hat eine unvorstellbare Dichte von etwa 10^{18} kg / m^3 , so als würde man Atomkerne dicht an dicht legen. Diese Kugel besteht im Inneren fast nur aus Neutronen, deshalb nennt man diese Sterne auch Neutronensterne.

Supernovaexplosionen hat man schon beobachtet, auch Sterne mit der Dichte von Neutronensternen hat man schon beobachtet. Diese Neutronensterne können sich sehr schnell, bis zu etwa 1000 mal je Sekunde drehen ! Eine derart schnelle Drehung ist nur Neutronensternen oder vergleichbar dichten Objekten möglich.

Neutronensterne sind sehr klein, bei der Entstehung nur wenige Kilometer groß. Sie haben aber die Masse der Sonne mit über einer Million Kilometer Durchmesser oder auch noch mehr. Durch die enorme Dichte der Neutronensterne und ihre geringe Größe herrscht auf der Oberfläche eines Neutronensterns eine ungeheuer starke Gravitation, in der Größenordnung oberhalb 10^{12} m / s^2 (10^{11} g). In Neutronensternen ist die Gewichtskraft der äußeren Schichten des Sterns so groß, daß der Druck der äußeren Schichten die elektrostatische Abstoßungskraft zwischen den Atomkernen im inneren des Sterns überwindet. Dann liegt die Materie innen so dicht wie möglich, wie Neutron an Neutron. Und das nicht auf Grund der Starken Kernkraft, die normalerweise die Atomkerne zusammenhält, sondern nur auf Grund der Gravitation, eigentlich der schwächsten aller bekannten Kraftwirkungen. Durch die Kraft der elektrischen Ladung werden die Elektronen in diese Masse hineingezogen und reagieren mit den Protonen. Es gibt daher in solchen exotischen Sternen fast nur Neutronen und an der Oberfläche eine dünne Schicht normaler Materie (möglicherweise hauptsächlich Eisen) mit Protonen Neutronen und Elektronen. Auf Grund der Gravitationsbeschleunigung muß der Neutronenstern rotationssymmetrisch sein. Ohne Rotation muß er eine Kugel sein, bei entsprechender Rotation wird die Kugel zum Ellipsoiden abgeplattet (wie z.B. der Planet Jupiter). Es gibt keine meßbaren Berge und Täler auf dem Zentralkörper. Berge würden auf Grund ihres Gewichtes zerfließen und Täler durch den Druck von der Seite zulaufen. Die Lichtgeschwindigkeit von $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ kann auch im freien Fall auf eine

beliebig große Masse nicht überschritten werden (siehe Kapitel 7,8 und 9).

Diese extrem dichten Sternleichen sammeln durch ihre starke Gravitation immer mehr Materie aus der Umgebung auf und wachsen daher. Und je schwerer sie sind, um so effektiver sammeln sie alle Masse in ihrer Umgebung ein. Es gibt in den Zentren von Galaxien Neutronensterne mit dem Milliardenfachen einer Sonnenmasse also fast 10^{40} kg. Dabei liegt der resultierende Durchmesser des zugehörigen Neutronensterns wahrscheinlich in der Größenordnung des doppelten Erddurchmessers, bei nur etwas mehr als 26000 km. Der Schwarzschild-Radius derartig massiver Neutronensterne liegt bei etwa 10^{13} Metern (fast 70 AE= 70 Erdbahnradien). Das bedeutet, jede Annäherung kleiner als 10^{14} Meter ist relativistisch zu betrachten. Derartige Massemonster sammeln sehr viel Materie aus der Umgebung auf und wachsen.

Ein Neutronenstern kann nicht beliebig klein sein. Wenn man Dichten wie in Atomkernen voraussetzt, muß der Neutronenstern einen Durchmesser von einigen Kilometern haben, sonst ist die erforderliche Gravitation zum Zusammenhalt des Sterns als Neutronenstern nicht vorhanden. Neutronensterne mit Durchmessern von wenigen Metern sind aus heutiger Sicht unmöglich, da sie nicht mehr von der Gravitation zusammengehalten werden.

Der Druck im Inneren eines Neutronensterns ist eigentlich nicht mehr vorstellbar, es ist ein blanker Zahlenwert. Eine Strukturierung kann sich nur durch die Abstoßungskräfte der Elementarteilchen selbst ergeben. Der Druck muß wie in einer Flüssigkeit ermittelt werden.

Das nun Folgende ist etwas spekulativ, aber durchaus möglich. Ob in superschweren Neutronensternen tatsächlich nur Neutronen sind, läßt sich nicht überprüfen. Es ist aber zu erwarten, daß bei derartigen superschweren Neutronensternen im Inneren der Druck so weit steigt, daß irgendwann die Bindungen der Quarks, die die Neutronen bilden, auch aufgebrochen werden. Es ist also zu erwarten, daß im Inneren von superschweren Neutronensternen nur noch eine extrem dichte Struktur aus Quarks vorhanden ist. Wann

dieser Übergang von Neutronen zu Quarks stattfindet und was sich dabei als Struktur ergibt, kann man möglicherweise ausrechnen, nachprüfen kann man das aber bisher nicht.

Wir haben nun festgestellt, daß unser Universum zur Zeit des Urknalls ein gewaltig großer Neutronenstern mit einer Masse von bis zu 10^{53} kg mit einem Durchmesser in der Größenordnung von fast $3 \cdot 10^8$ km gewesen sein kann. Darum herum war das Universum fast wie heute, nur sehr viel leerer. Unklar ist aber bisher, warum und wie dieser Neutronenstern explodiert ist. Dazu müssen wir versuchen, grundlegende Eigenschaften unserer Materie zu ergründen.

12. Was wissen wir über Materie ?

In diesem Kapitel soll es um einige grundsätzliche Eigenschaften der sogenannten stofflichen Materie gehen. Also um Elementarteilchen, wie Elektronen, Protonen und Neutronen. Eben die Elementarteilchen, aus denen wir selbst, aber auch Neutronensterne bestehen. Diese Elementarteilchen haben alle einen Eigendrehimpuls, den sogenannten Spin. Und diese Elementarteilchen haben entweder selbst eine Ladung, wie das Elektron, oder sie bestehen aus geladenen Bestandteilen, wie das Neutron oder das Proton. Diese Bestandteile der Protonen und Neutronen, sie werden Quarks genannt, haben selbst wieder einen Drehimpuls, eine Ladung, und einen magnetischen Dipol. Daraus folgert, alle Elementarteilchen und die Quarks bestehen aus Ladungsringen mit rotierenden Ladungen. Diese Ladungsringe bilden Strukturen, aus denen Neutronen und Protonen zusammengesetzt sind. Diese Ladungsringe können sich gegenseitig nicht durchdringen, sie nehmen also immer ein gewisses Volumen ein. Sie sind daher auch nicht beliebig komprimierbar. Auf Grund dieser Struktur als Ladungsringe wird auch klar, warum ein Elementarteilchen wie ein Elektron, ein Proton oder ein Neutron nicht auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden kann: ein rotierender Ladungsring läßt sich nicht auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigen, da dann je nach Lage des

Rings einige Teile des Rings oder auch der gesamte Ring schneller als Lichtgeschwindigkeit wären.

Protonen können von Neutronen zu Atomkernen zusammengehalten werden. Dabei wird für jedes Proton mindestens ein Neutron benötigt, bei schwereren Atomkernen etwas mehr Neutronen. Normalerweise sorgt die Abstoßungskraft der Ladung der Protonen dafür, daß zwischen den Protonen verschiedener Atomkerne ein großer Abstand herrscht, im Kristall etwa der 10^5 -fache Abstand des Kerndurchmessers. Zwischen den Atomkernen befinden sich die Elektronen in Elektronenhüllen. Aus Materie dieser Art besteht die Erde, alle Planeten, die Sonne, die Sterne, interstellarer Staub und interstellares Gas und alles Leben auf der Erde.

Quarks, Protonen, Neutronen und Elektronen können nicht beliebig miteinander wechselwirken. Hier spielt nun doch die Quantenphysik hinein. Quantenphysik bedeutet in diesem Zusammenhang: die Wechselwirkungen sind nicht durch Austausch beliebiger Energiepakete (Energiequanten) möglich, sondern im Bereich geringer Energien sind zur Wechselwirkung ganz bestimmte Energiepakete (Energiequantum) notwendig.

Die Quarks bilden Strukturen, die sehr stabil sind, und die den Zerfall und die Zerstrahlung der Quarks verhindern. Aus Quarks bestehen Protonen und Neutronen. Im ursprünglichen interstellaren Gas gab es überwiegend Protonen und Elektronen. Das sind beides sehr stabile Strukturen, die nicht von selbst zerfallen. In den Sternen wurden über die Kernfusion die schwereren Elemente „erbrütet“. Dabei wird ein Teil der Protonen und Elektronen in Neutronen umgewandelt. In den entstandenen Atomkernen sind die Neutronen stabil. Wenn Neutronen als einzelnes Teilchen allein sind, zerfallen sie von selbst auf die Dauer wieder in Elektronen und Protonen. In den Sternen entstehen durch die Kernfusion immer mehr Neutronen, im Endstadium eines weißen Zwerges (dem Endstadium kleiner Sterne) sind etwa die Hälfte aller schweren Elementarteilchen Neutronen. Im Endstadium großer Sterne, den Neutronensternen sind nur in der äußersten Hülle des Sterns noch Protonen und

Elektronen vorhanden, der Rest des Sterns besteht nur noch aus Neutronen.

13. Wie können große Massekonzentrationen vergehen ?

Zu Beginn dieses Kapitels möchte ich noch einmal daran erinnern, daß die Voraussetzungen für die Existenz eines Neutronensterns eine sehr dichte und sehr schwere Masse ist. Diese Masse wird nur durch ihre eigene Schwere zusammengehalten. Jede Fallbewegung auf diese extrem dichte und schwere Masse ist in der Nähe der Masse relativistisch.

Die Schlußfolgerungen die in diesem Kapitel gezogen werden, sind zur Zeit nicht belegbar, sind also nur eine begründete Spekulation ! Meiner Meinung nach aber eine sehr sinnvolle Spekulation, um Ereignisse, wie einen Urknall zu erklären.

Bisher wurden Zusammenhänge und Mechanismen erklärt, die die Masse immer weiter konzentrieren. Wenn das immer so weitergehen würde, bestünde die Gefahr, daß über große Zeiträume alle Masse sich in großen und superschweren Neutronensternen sammelt, und dann abkühlt. Nichts passiert dann mehr im Universum, die bestehenden Sterne sind vergangen und neue Sterne können sich nicht mehr bilden. Leben in der heutigen Form ist dann so nicht mehr möglich. Es ist also zu erwarten, daß es auch einen Vorgang gibt, der diese riesigen Neutronensterne zerstört, und ihre Masse wieder im Universum verteilt. Und nur um eine Möglichkeit für einen derartigen Vorgang aufzuzeigen, wird diese Spekulation hier weitergeführt.

Wir hatten festgestellt, daß dieser supermassive Neutronenstern etwa einen Durchmesser in der Größenordnung von 10^8 km hat und eine Masse in der Größenordnung von 10^{50} kg. Unter diesen Zahlen kann man sich kaum etwas vorstellen. Der Durchmesser dieses riesigen Neutronensterns liegt in der Größenordnung unseres Erdbahndurchmessers um die Sonne. Der Neutronenstern hat die unvorstellbare Dichte von etwa 10^{18} kg/m³.

Was bedeutet das nun ? Durch die auf den riesigen Neutronenstern stürzende Materie wird dieser Neutronenstern sehr heiß. Heiß bedeutet, daß die Ladungsringe, aus denen die Neutronen bestehen, sich mit sehr hoher Bewegungsenergie (sehr sehr schnell) bewegen und sich gegenseitig stoßen. Durch den gewaltigen Druck und die dadurch hervorgerufene enorme Dichte haben die Ladungsringe auch keinen Platz zur Bewegung. Stöße mit hoher Energie auf engstem Raum sind die Regel. Auch Stöße mit 3 und mehr Stoßpartnern werden immer häufiger. Im Neutron und auch im Neutronenstern verhindert die Struktur, daß sich die Ladungsringe zerstrahlen (annihilieren) können. Durch den hohen Druck und die hohe Temperatur geht diese Struktur zunehmend verloren. Zur Zerstrahlung müssen die Ladungsringe geeignet zusammenstoßen und reagieren. Und das ist nur durch die extrem hohe Dichte, den extrem hohen Druck und die extrem hohe Temperatur im supermassiven Neutronenstern möglich. Und auch dann ist die Zerstrahlung nur beim Zusammenstoß in ganz bestimmter Weise möglich. Die Wahrscheinlichkeit für diesen Zusammenstoß erhöht sich mit der Temperatur und dem Druck. Die dabei entstehende Gammastrahlung wird in der Nähe der Entstehung von anderen Ladungsringen absorbiert, deren Temperatur sich dadurch weiter stark erhöht. Wenn in einem kleinen Gebiet genügend Ladungsringe zerstrahlen, ergibt sich ein lawinenartiger Effekt, der im Innersten des Zentralkörpers am Ort des höchsten Drucks des supermassiven Neutronensterns beginnt. Es wird ein großer Teil aller Ladungsringe zerstrahlt, so lange bis die übrigen Ladungsringe oder Quarks oder Elementarteilchen so viel Energie aufgenommen haben, daß sie die Schwerkraft überwinden können und gleichmäßig nach außen gepreßt werden. Durch die abnehmende Dichte stoppt dann der Prozeß der Zerstrahlung irgendwann. Dadurch, daß schon ein großer Anteil der inneren Materie des Neutronensterns zerstrahlt ist, und die noch vorhandenen Elementarteilchen und Quarks sehr viel Energie aufgenommen haben, folgt aber der oben beschriebene Prozeß der Explosion des Neutronensterns. Wie schon im Kapitel 8 beschrieben, kann die Gravitation reine Strahlungsenergie nicht zusammenhalten. Wenn die Quarks und Elementarteilchen genügend Energie

aufgenommen haben, können sie auch das gewaltige Gravitationsfeld dieses supermassiven Neutronensterns überwinden.

Was passiert, wenn diese zentrale Masse des Neutronensterns auseinanderbricht ? Was passiert, wenn im Inneren des Neutronensterns eine Explosion die äußeren Schichten nach außen schleudert ? Damit die Materie des Neutronensterns wirklich das Gravitationsfeld dieses Neutronensterns verlassen kann, müssen die Teilchen sehr viel kinetische Energie bei der Explosion erhalten. Die kinetische Energie der Teilchen des explodierenden Neutronensterns muß ausreichen, die potentielle Energie des Neutronensterns zu überwinden. Durch diese Explosion wird die gesamte Masse des Neutronensterns im Raum als Mischung von hochenergetischen Teilchen und Strahlung verteilt ! In diesem Fall wird die Energie des supermassiven Neutronensterns wieder freigesetzt. Das ist eine gewaltige Explosion die den Namen „Urknall“ oder besser noch „Großer Knall“ wirklich verdient.

Selbst wenn man die Erklärung des Strukturverlustes über die Ladungsringe nicht akzeptiert, kann man jedoch in jedem Fall einen Strukturverlust auf Grund der extremen Massekonzentration und des extremen Drucks in dieser riesigen Massekonzentration als Ursache für die explosive Energiefreisetzung in der Massenkonzentration, für die Explosion dieser Massekonzentration als sinnvolle Spekulation akzeptieren. Man kann über vieles diskutieren, denn auch die Vermutung des Strukturverlustes ist ja nur eine Hypothese, aber es ist meiner Meinung nach die wahrscheinlichste Ursache für die Explosion der riesengroßen Massekonzentration. Und diese Hypothese kommt ohne weitere Voraussetzungen aus. Die Ladungsringe sind eine Möglichkeit, diesen Strukturverlust zu erklären. Und ich halte diese Erklärung für sinnvoll.

Das Ergebnis dieser Explosion ist eine Dichtewelle aus einem extrem heißen Plasma aus Quarks und Elementarteilchen, mit sehr harter Gammastrahlung gemischt, die mit fast Lichtgeschwindigkeit auseinander fliegt. Durch das Auseinanderfliegen, die Synthese von Elementarteilchen und Helium und die Überwindung der enorm starken potentiellen Energie wird dem explodierendem Plasma sehr viel Energie entzogen. Dieser Energieentzug kühlt das Plasma

anfangs sehr stark immer weiter ab. Diese Abkühlung ist bedeutend schneller als bei der sogenannten adiabatischen Expansion. Trotzdem ist das immer noch eine gewaltige Explosion, ein großer Knall, ein „Big Bang“ eben !

Der Urknall setzt nicht voraus, daß alle vorhandene Masse in dem supermassiven Neutronenstern konzentriert ist. Es muß aber schon eine sehr große Massekonzentration vorhanden gewesen sein. Wenn man allerdings große Galaxien gefunden hat, die schon 400 000 Jahre nach dem Urknall da gewesen sein sollen, ist nicht zu erwarten, daß sich diese Galaxien in nur 400 000 Jahren nach dem Urknall neu gebildet haben. Ich würde davon ausgehen, daß diese Galaxien nicht am Urknall beteiligt waren und aus der Zeit vor dem Urknall stammen. Wieder ein Hinweis darauf, daß der Urknall nicht der Beginn von allem war ! Oder auch darauf, daß der Urknall neu datiert werden muß !

In neueren hoch aufgelösten Bildern von der Schwankung der Hintergrundstrahlung kann man Strukturen erkennen. Man kann auch kalte Schatten sehen. Das sieht aus, als ob eine große Masse einen Schatten in der Hintergrundstrahlung hinterlassen hätte. Das ist zum Beispiel in [7] beschrieben. Auch das ist ein Hinweis darauf, daß am Urknall nicht alle vorhandene Masse beteiligt war, und der Urknall nicht der Beginn von allem war.

Ich denke mir, in Bezug auf die Hintergrundstrahlung ist auch 50 Jahre nach der Entdeckung dieser Hintergrundstrahlung noch nicht alles erklärt. Wir werden in dieser Beziehung mit Sicherheit noch neue Erkenntnisse erleben.

14. Kann es einen weiteren Urknall geben ?

Ein Urknall, wie hier beschrieben, ist ja nur an eine enorm große Massenkonzentration gebunden. Wie groß diese Masse genau sein muß, damit sie von selbst explodiert, kann man möglicherweise irgendwann einmal ausrechnen. Überprüfen kann man es nicht ! Wenn man davon ausgeht, daß ein großer Teil der uns sichtbaren Masse beim Urknall in einem Neutronenstern konzentriert war, muß

dieser Neutronenstern eine Masse in der Größenordnung von 10^{50} kg gehabt haben. Bei Auftreten einer Massenkonzentration in Form eines Neutronensterns dieser Größe tritt der Urknall zwangsläufig ein ! Uns ist zur Zeit im beobachtbaren Universum kein Neutronenstern bekannt, der dieses Potential bietet. Die bekannten supermassiven Neutronensterne liegen schätzungsweise noch 7 bis 10 Größenordnungen von der zum Urknall notwendigen Masse entfernt. Die zum Urknall notwendige Massenkonzentration kann sich in dem beobachtbaren Universum in vielen Milliarden Jahren möglicherweise wieder neu bilden. Möglicherweise erleben wir gerade im Great Attractor oder im Shapley-Superhaufen den Beginn der Bildung einer derartigen Massekonzentration. Aber eines ist völlig klar: wir und unsere Kinder und Enkel werden es nicht mehr erleben, daß aus dieser Massekonzentration, die sich da bildet, ein neuer Urknall entsteht.

Wann es wieder einen Urknall geben könnte, ist zur Zeit also blanke Spekulation ! Man weiß es nicht. Man weiß nicht, wie groß die Massen des supermassiven Neutronensterns sein muß, um einen Urknall auslösen zu können. Und man kennt auch noch keine passende Massekonzentration, die den Urknall auslösen könnte. Nur eines kann man sagen : die Möglichkeit für einen neuen Urknall besteht ! Dabei muß man allerdings auch sagen, wir und unsere Kinder und Enkel werden es nicht mehr erleben. Es muß sich also niemand Sorge darüber machen, daß unsere Welt in der nächsten Zeit durch einen neuen Urknall zerstört werden könnte. Astronomische Zeitintervalle sind gewaltig groß und zählen in Milliarden Jahren. Wir Menschen müssen uns vielmehr darum Sorgen machen, daß unsere Erde noch vielen Generationen unserer Kinder, Enkel und Urenkel lebenswert erhalten bleibt. Und der Zeitraum, der dafür bleibt, zählt nur in Jahren, Jahrzehnten, maximal in Jahrhunderten.

15. Literatur

Als weiterführende und ergänzende Literatur kann hier empfohlen werden :

- [1] Andreas Müller, Lexikon der Astrophysik, aus dem Wissensportal Astrophysik (PDF aus dem Internet)
- [2] Albert Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, Verlag Vieweg & Sohn
- [3] H.Hemme, Die Relativitätstheorie, Einstein mal einfach, Anaconda Verlag GmbH
- [4] Jürgen Altenbrunn, Eine kurze Geschichte der Zeit, Teil 2, oder über die Natur von Zeit und Raum, Selbstverlag (PDF im Internet)
- [5] Andreas Müller, Schwarze Löcher, das dunkelste Geheimnis der Gravitation (PDF aus dem Internet)
- [6] Christian Wolf, Wohin strebt die Milchstraße ? Zeitschrift Sterne und Weltraum, März 2013 Seite 30 Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsg.m.b.H.
- [7] Georg Wolschin, Neues vom Urknall: Plancks Himmelskarte Zeitschrift Spektrum der Wissenschaft, Juli 2013 Seite 19 Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsg.m.b.H.
- [8] Paul Marmet, Die natürliche Längenkontraktion infolge der Schwerkraft, Übersetzung von Mathias Hüfner, (PDF aus dem Internet)

In der aufgeführten Literatur wird auf die Erkenntnisse dieser Betrachtung natürlich noch nicht eingegangen. Dort gibt es noch schwarze Löcher, Ereignishorizonte, eine Rotverschiebung durch die kosmologische Expansion, Dunkle Energie, kosmische Zensoren u.s.w.

16. Konstanten und Daten

Falls jemand nachrechnen möchte, sind hier die notwendigen Konstanten und Daten angegeben. Die Lichtgeschwindigkeit kann man sehr genau bestimmen. In viele Rechnungen geht die Gravitationskonstante ein, und ein genauerer Wert wäre sehr wünschenswert. Leider ist das nicht so einfach, man kann immer nur das Produkt aus einer Masse und der Gravitationskonstanten genau bestimmen. Wenn man beispielsweise die Erdmasse auf 8 Stellen genau kennen würde, könnte man auch die Gravitationskonstante genauer bestimmen. Aber so genau kennt man die Erdmasse nicht. Mir ist kein genauerer Wert für die Gravitationskonstante bekannt.

Lichtgeschwindigkeit	$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$
Gravitationskonstante	$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
Plancksches Wirkungsquantum	$h = 6,626069 \cdot 10^{-34} \text{ Nms (Ws}^2\text{)}$
Ruhemasse Proton / Neutron	$m_P = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Elementarladung	$Q_E = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (As)
Durchmesser Proton / Neutron	$r_P = 1,8 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Astronomische Einheit	$AE = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Lichtjahr	$L_j = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$
Parsec	$Pc = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}$
Erdmasse	$m_E = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Erdradius (mittel)	$r_E = 6378 \text{ km}$
Sonnenmasse	$m_S = 1,9891 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Sonnenradius	$r_S = 695\,800 \text{ km}$
Mondmasse	$m_M = 7,348 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Mondradius	$r_M = 1738 \text{ km}$

Anhang A: Integral der Gleichung (8.8)

Die Gleichung (8.8) ist zentraler Bestandteil dieser Betrachtung. Diese Gleichung lautet:

$$\Delta m = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r \quad (8.8)$$

Die allgemeine Lösung des Integrals dieser Gleichung anzugeben, ist nicht so einfach, da beide Massen m_1 und m_2 eine Funktion von r (und von Δm) sind. Δm ist aber für beide Massen m_1 und m_2 identisch. In unserer Gleichung soll m_1 immer die größere Masse sein und m_2 immer die kleinere Masse sein. Es gilt also immer :

$$(A1) \quad m_1 \geq m_2$$

Dann ist die maximal erzeugbare Energie :

$$E_{MAX} = 2 \cdot m_2 \cdot c^2 \quad (8.13)$$

Es bleibt also immer mindestens die Masse :

$$(A2) \quad m_{END} = m_1 - m_2$$

übrig. Ich möchte hier nur zwei Spezialfälle des Integrals der Gleichung (8.8) betrachten : $m_1 = m_2$ und m_1 sehr groß gegen m_2 .

1. Fall $m_1 = m_2 (= m)$

Für diesen Fall kann man die Gleichung (8.8) auch so schreiben :

$$(A3) \quad \Delta m = \frac{G \cdot m^2}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r$$

Das m^2 benötigt man auf der linken Seite der Gleichung. Die Gleichung lautet dann :

$$(A4) \quad \frac{1}{m^2} \cdot \Delta m = \frac{G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r$$

Als Integral geschrieben lautet die Gleichung dann :

$$(A5) \quad \int \frac{1}{m^2} dm = \int \frac{G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} dr$$

Die Lösung dieser Integrale lautet :

$$(A6) \quad -\frac{1}{m} = -\frac{G}{2 \cdot c^2 \cdot r} - k$$

Dabei ist k die Integrationskonstante und ist nicht dimensionslos, sondern hat die Dimension kg^{-1} . Um m und r über den Bruchstrich zu bekommen, werden beide Seiten der Gleichung (A6) jetzt mit $-(m \cdot r)$ multipliziert. Dann erhält man :

$$(A7) \quad r = \frac{G \cdot m}{2 \cdot c^2} + k \cdot m \cdot r$$

Aus dem rechten Term klammert man m aus und erhält :

$$(A8) \quad r = \left(\frac{G}{2 \cdot c^2} + k \cdot r \right) \cdot m$$

Wenn man nach m umstellt erhält man :

$$(A9) \quad m = \frac{r}{\frac{G}{2 \cdot c^2} + k \cdot r}$$

Für die Integrationskonstante k setzt man als sinnvollen Wert :

$$(A10) \quad k = \frac{1}{m_0}$$

ein. m_0 sei die Masse m_1 oder m_2 bei unendlicher Entfernung r . Dadurch erhält man :

$$(A11) \quad m = \frac{r}{\frac{G}{2 \cdot c^2} + \frac{r}{m_0}}$$

Diese Gleichung (A11) beschreibt die Abhängigkeit der Massen m_1 und m_2 von der Entfernung zu einander, wenn $m_1 = m_2$ gilt. Für r gegen unendlich ergibt sich :

$$(A12) \quad m = m_0$$

und für r gegen null ergibt sich :

$$m = \frac{2 \cdot c^2}{G} \cdot r \quad (8.9)$$

2. Fall m_1 ist sehr groß gegen m_2 ($m_1 = \text{konstant}$)

Wenn m_1 sehr viel größer als m_2 ist, ändert sich m_1 fast überhaupt nicht, während m_2 immer geringer wird und sich bei sehr großer

Annäherung fast im nichts auflöst. Die Energie wird entsprechend dem Gedankenexperiment nach außen abgeführt ! m_1 wird in m_G (große Masse) umbenannt, und m_2 wird in m_K (kleine Masse) umbenannt. m_K wird auf die linke Seite der Gleichung gebracht. Dann erhält man aus der Gleichung (8.8) :

$$\frac{1}{m_K} \cdot \Delta m = \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r \quad (8.14)$$

Als Integral geschrieben lautet die Gleichung dann :

$$(A13) \quad \int \frac{1}{m_K} dm = \int \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} dr$$

Die Lösung dieser Integrale für $m_G = \text{konstant}$ lautet :

$$(A14) \quad \ln(m_K) = - \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r} + k$$

k ist wieder die Integrationskonstante. Um den natürlichen Logarithmus links zu beseitigen, wird die gesamte Gleichung e hoch genommen. Dadurch ergibt sich :

$$(A15) \quad m_K = e^{\left(- \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r} + k \right)}$$

Der Ausdruck e^k ist wieder eine Konstante k_2 , und wird aus der Klammer im Exponenten herausgezogen. Dann bleibt übrig :

$$(A16) \quad m_K = k_2 \cdot e^{- \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r}}$$

Für die Integrationskonstante k_2 wird m_{K0} eingesetzt. m_{K0} ist die kleine Masse m_K in unendlicher Entfernung von der großen Masse m_G . Dann ergibt sich für die Abhängigkeit der kleinen Masse von der Entfernung zur großen Masse :

$$m_K = m_{K0} \cdot e^{- \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r}} \quad (8.15)$$

Für r gegen unendlich ergibt sich $m_K = m_{K0}$ und für r gegen Null ergibt sich, daß auch m_K gegen Null geht.

Anhang B: Integral der kosmologischen Rotverschiebung

Zur Ermittlung der kosmologischen Rotverschiebung nach Kapitel 9 wird wieder die Gleichung (8.8) dieser Abhandlung verwendet. Diese Gleichung lautet:

$$\Delta m = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r \quad (8.8)$$

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 :

$$(B1) \quad m_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot D \quad (\text{Masse} = \text{Kugelvolumen} \cdot \text{Dichte})$$

Die Gleichung (B1) setzt man in die Gleichung (8.8) ein, bringt m_2 nach links und erhält :

$$(B2) \quad \frac{1}{m_2} \cdot \Delta m = \frac{G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot D \cdot \Delta r$$

Die Gleichung (B2) kann man vereinfachen zu :

$$(B3) \quad \frac{1}{m_2} \cdot \Delta m = \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r}{3 \cdot c^2} \cdot \Delta r$$

Die Gleichung (B3) muß man als Integral formulieren :

$$(B4) \quad \int \frac{1}{m_2} dm = \int \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r}{3 \cdot c^2} dr$$

Die Integrale der Gleichung (B4) lauten :

$$(B5) \quad \ln(m_2) = \frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2} + k$$

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

$$(B6) \quad m_2 = e^{\left(\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2} + k \right)}$$

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

$$(B7) \quad m_2 = k_2 \cdot e^{\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}}$$

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 :

$$(B8) \quad m_2 = m_{20} \cdot e^{\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}}$$

Die Gleichung für die Rotverschiebung im Kapitel 8 war :

$$z = 2 \cdot \left(\frac{m_{KO}}{m_{KA}} - 1 \right) \quad (8.19)$$

Im Kapitel 8 wurden zwei Massen aneinander angenähert, so daß die potentielle Energie und auch 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 (8.19) umgekehrt schreiben muß. Es ergibt sich :

$$(B9) \quad z = 2 \cdot \left(\frac{m_2}{m_{20}} - 1 \right)$$

Wenn man jetzt die Gleichung (B8) einsetzt und m_{20} kürzt ergibt sich:

$$z = 2 \cdot \left(e^{\frac{\pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}} - 1 \right) \quad (9.1)$$

Diese Gleichung (9.1) beschreibt die kosmologische Rotverschiebung über sehr große Entfernungen in Abhängigkeit von der Dichte D des Mediums und von der Entfernung r von der Lichtquelle. Im Bereich sehr kleiner Werte der e-Funktion ergibt sich eine quadratische Kurve. Sie ist in der doppelt logarithmischen Darstellung eine Gerade. Die Näherung für kleine Werte ist :

$$(B10) \quad z = \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2} \quad (\text{Näherung bis } R_S / 10)$$

Bei einer Dichte von 10^{-26}kg/m^3 funktioniert die Näherung bis 10^{25}m . Bei sehr kleinen Werten z ist die Fluchtgeschwindigkeit :

$$(B11) \quad z = \frac{v^2}{2 \cdot c^2} \quad (\text{Näherung für kleine Geschwindigkeiten})$$

Falls man die scheinbare Fluchtgeschwindigkeit ausrechnen möchte, muß man die beiden z aus den Gleichungen (B10) und (B11) einsetzen. Man erhält :

$$(B12) \quad \frac{v^2}{2 \cdot c^2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot G \cdot D \cdot r^2}{3 \cdot c^2}$$

Diese Gleichung (B12) kann man vereinfachen zu

$$(B13) \quad v^2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot G \cdot D}{3} \cdot r^2$$

Man kann die Wurzel ziehen und erhält :

$$(B14) \quad v = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot G \cdot D}{3}} \cdot r$$

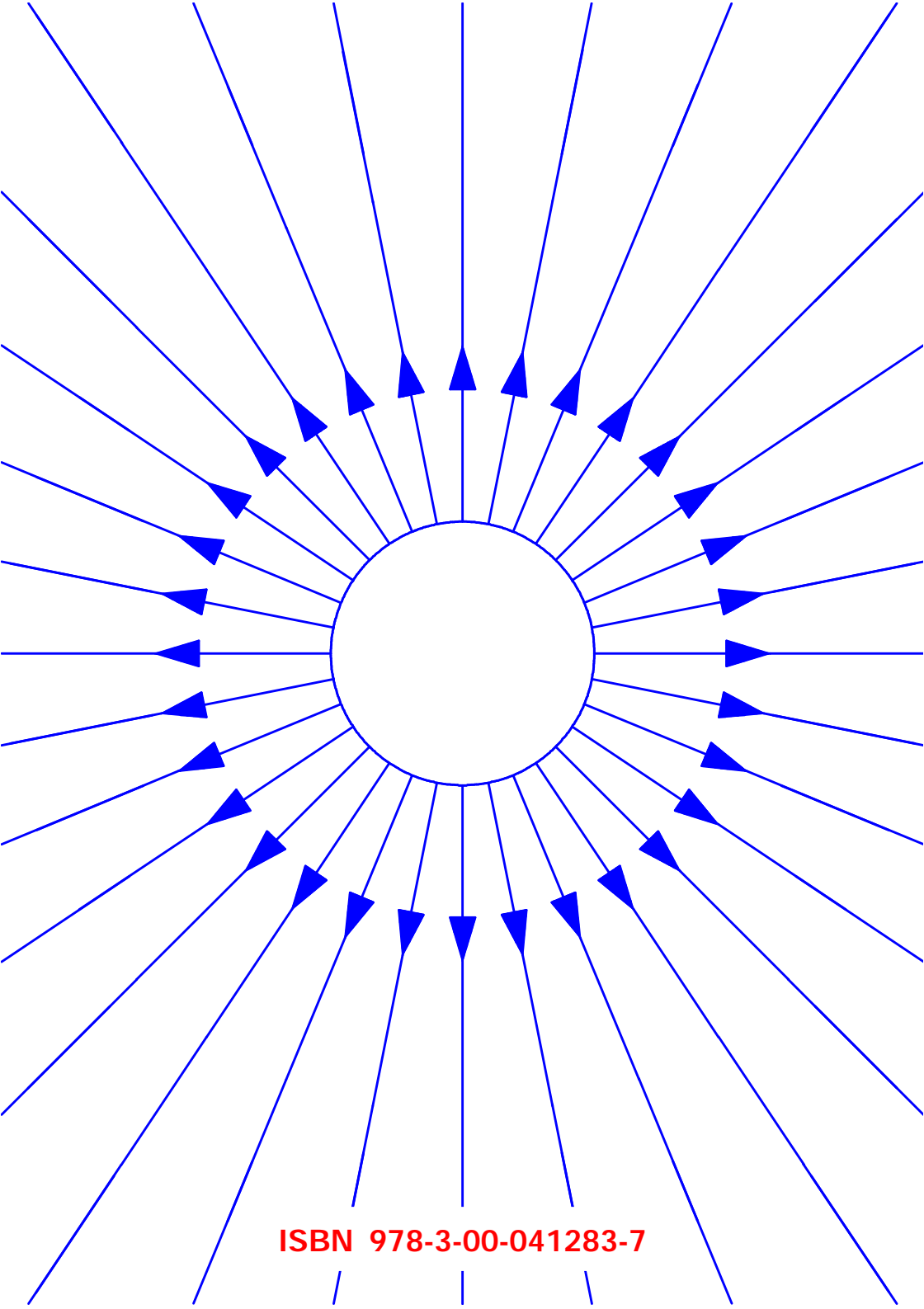
Man sieht, daß die scheinbare Fluchtgeschwindigkeit linear mit dem Abstand steigt. Diese Gleichung (B14) hat bei $c/10$ (30 000 km/s) schon Fehler im Bereich von 10% und bei $c/100$ (3 000 km/s) einen Fehler im Bereich von 1% auf Grund der Verwendung der Näherungen (B10) und (B11). Aber man kann damit die Hubble-Konstante (in unserer Nähe) ausrechnen :

$$(B15) \quad \frac{v}{r} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot G \cdot D}{3}}$$

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

$$(B16) \quad D = \frac{3 \cdot v^2}{4 \cdot \pi \cdot G \cdot r^2}$$

Wenn man in die Gleichung (B16) die Hubble-Konstante von 21 km/s je Million Lichtjahre ($9,461 \cdot 10^{21} \text{m}$) einsetzt, erhält man eine mittlere Dichte des Universums von $1,762 \cdot 10^{-26} \text{kg/m}^3$. Das sind etwa 10 Protonen je Kubikmeter.



ISBN 978-3-00-041283-7