JÜRGEN ALTENBRUNN

Die Relativitätstheorie ohne Singularitäten

Inhalt

Zusammenfassung

Ich muß es gleich vorwegnehmen : dieses ist ***keine*** Widerlegung der Relativitätstheorie, dieses ist eine Präzisierung in einem Bereich, in dem die Relativitätstheorie noch nie getestet werden konnte.

Durch die Berücksichtigung der Masseänderung durch die Veränderung der potentiellen Energie können alle Singularitäten der Relativitätstheorie vermieden werden. Diese Masseänderung folgt der Relation $E = m\,c^2$. In dem Maße, wie einer Masse potentielle Energie entzogen wird, wird diese Masse auch leichter. Deutlich wird das erst bei Entfernungen in der Größe des Schwarzschild-Radiusses. Die Ruhemasse ist die potentielle Energie gegen die Unendlichkeit.

Durch diese Berücksichtigung der Masseveränderung ändert sich aber auch die Feldverteilung im Nahfeld einer Masse. Und auch die Rotverschiebung in unmittelbarer Umgebung einer sehr dichten schweren Masse. Der Ereignishorizont verschwindet. Es ist eine Physik innerhalb des Schwarzschild-Radiusses möglich.

1. Einleitung

In der Speziellen und in der Allgemeinen Relativitätstheorie treten am Ereignishorizont Singularitäten auf. Singularitäten sind „unphysikalisch“ sagen einige Physiker. Auch Einstein soll von den Singularitäten in der Relativitätstheorie nicht begeistert gewesen sein. An den Singularitäten sind physikalische Vorgänge nicht mehr beschreibbar. Und was hinter dem Ereignishorizont passiert, kann auch niemand beschreiben. In gewisser Weise ist die Zulassung eines Ereignishorizonts die Abkehr von der Grundannahme, daß die Naturgesetze im gesamten uns umgebenden Universum gelten. Wenn es Bereiche unseres Universums gibt, die wir prinzipiell nicht beobachten können, ist es eine sinnlose nicht beweisbare Behauptung, daß die uns bekannten Naturgesetze auch dort gelten würden. Der Ereignishorizont ist eine äußerst unbefriedigende Lösung.

Hier soll nun dargelegt werden, wie man in der Relativitätstheorie ohne Singularitäten und damit ohne Ereignishorizont und ohne kosmischen Zensor auskommen kann. Eigentlich ist es gar nicht so schwierig, diese Singularitäten zu vermeiden. Hier soll die grundsätzliche Lösung präsentiert werden. Diese Betrachtung soll möglichst einfach und verständlich sein. Und deshalb wird in diese Betrachtung auch keinerlei Rotation mit einbezogen. Das ändert nichts Grundsätzliches an dieser Betrachtung, vereinfacht sie aber sehr deutlich, und macht sie verständlicher.

Ich möchte diese Betrachtung auch interessierten Menschen zugänglich machen, die nur die Schulmathematik und die einfache Physik des dreidimensionalen Raumes beherrschen. Um die aufgezeigte Lösung möglichst einfach zu halten, wird auch auf eine Darstellung in der vierdimensionalen Raumzeit verzichtet, diese Betrachtung kommt mit drei geometrischen Dimensionen und der Zeit aus.

Noch etwas zur Systematik: die angegebenen Gleichungen sind durchnumeriert. Die laufende Nummer steht in Klammern vor der Gleichung. (2.4) bedeutet, es ist die vierte Gleichung im Kapitel 2. Falls die Nummer dahinter steht, ist es eine Wiederholung, diese Gleichung wurde schon in dem dahinterstehenden Kapitel aufgeführt.

2. Der Einfluß der potentiellen Energie auf die Masse

Albert Einstein hat schon in der speziellen Relativitätstheorie festgestellt, daß sich die Masse eines Objektes durch die kinetische Energie (Geschwindigkeit) verändert. Die Masse eines Objektes verändert sich aber auch durch die potentielle Energie. Das wird im Folgenden über die Energieerhaltung noch belegt. Wenn man diese Masseänderung durch die potentielle Energie in der Relativitätstheorie berücksichtigt, verschwinden alle Singularitäten in der Relativitätstheorie. Wie das funktioniert wird hier dargelegt.

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 :

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

G ist dabei die Gravitationskonstante, m_1 und m_2 sind die beiden Massen Masse1 und Masse2, F ist die Kraft zwischen den beiden Massen m_1 und m_2, und r ist der Abstand zwischen den beiden Massen(zentren). Die beiden Massen ziehen sich entsprechend der oben aufgeführten klassischen Gleichung (2.1) der Gravitationskraft gegenseitig an.

Wenn man diese beiden Massen jetzt langsam aufeinander zu bewegt, wird auf Grund der wirkenden Gravitationskraft Energie freigesetzt. Diese Energie stammt aus den Gravitationsfeldern der beiden Massen und ist die potentielle Energie (Lageenergie).

Um die Masseveränderung durch die potentielle Energie genau zu untersuchen, müssen wir ein einfaches Gedankenexperiment durchführen. Der realen Ausführung dieses Experimentes stehen viele Dinge entgegen, wie zum Beispiel die Festigkeit von Seilzügen, die störende Masse von konstruktiven Elementen wie Seilzügen, Umlenkrollen, und der Halterung der Mechanik, und ganz besonders die enormen auftretenden Kräfte und Energiemengen. Zur Ermittlung des Masseverlaufes und der Rotverschiebung bei der Annäherung der Massen genügt uns aber dieses Gedankenexperiment.

Nehmen wir an, es gelänge uns, wie im Bild 1 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 durch die potentielle Energie darf diese freigewordene Energie aber nicht im System bleiben.

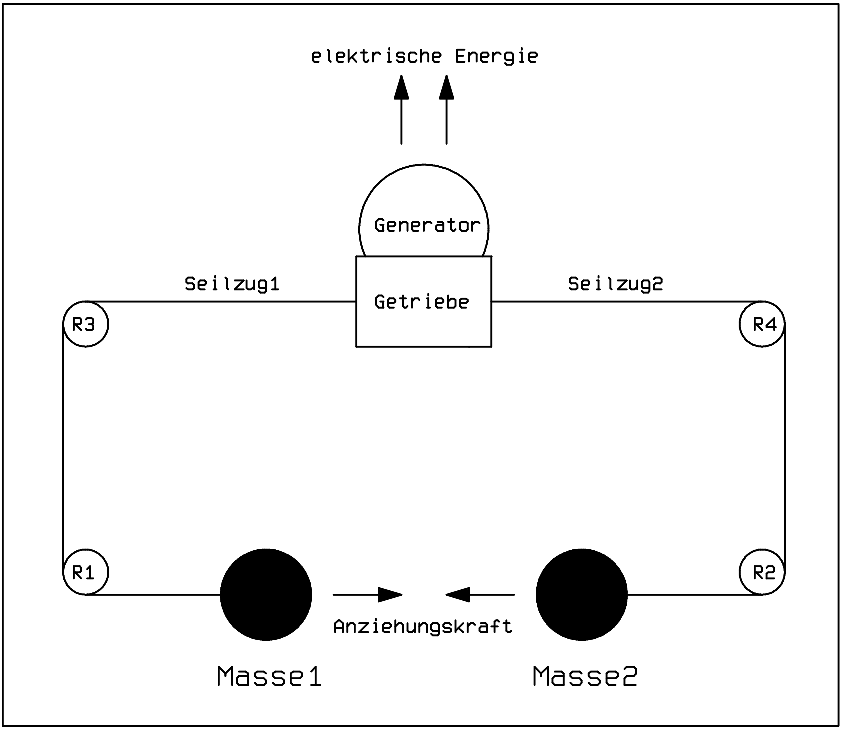

Bild 1 : Anordnung zweier Massen, deren potentielle Energie in elektrische Energie umgewandelt wird und aus dem System entfernt wird.

Die beiden oben aufgeführten Massen Masse1 und Masse2 ziehen sich entsprechend der klassischen Gleichung (2.1) 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 $E = m\,c^2$ natürlich auch leichter.

Die Gesamtenergie dieser beiden Massen ist zu Beginn bei großer Entfernung der Massen :

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

Da die Massen (zunächst) gleich groß sein sollen gilt :

(2.3) $$m_1 = m_2 \qquad (= m)$$

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

(2.4) $$E = 2 \cdot m \cdot c^2$$

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. Es gilt für die frei gewordene potentielle Energie :

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

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 (2.5) für die Anziehungskraft F die oben aufgeführte klassische Gleichung (2.1) für die Gravitationskraft einsetzt, erhält man :

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

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 :

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

Durch Umstellen der Gleichung (2.7) ergibt sich die Masseabnahme der beiden einzelnen Massen zu :

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

Wenn man jetzt die Energie ΔE aus der Gleichung (2.6) in die Gleichung (2.8) für die Masseabnahme einsetzt, erhält man :

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

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-Δm und mit m_2-Δm . Die beiden Massen m_1 und m_2 werden durch die nach außen abgeführte potentielle Energie also immer kleiner (leichter) ! Diese Gleichung (2.9) ist eine fundamentale Gleichung dieser Betrachtung. Um den Masseverlauf in Abhängigkeit von der Entfernung zu ermitteln muß man diese Gleichung (2.9) integrieren. Die ermittelten Integrale wurden alle durch numerische Integration geprüft.

Die allgemeine Lösung des Integrals dieser Gleichung anzugeben, ist nicht so einfach, da beide Massen m_1 und m_2 eine Funktion von r 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 :

(2.10) $$m_1 \geq m_2$$

bei der Annäherung bleibt also immer mindestens die Masse :

(2.11) $$m_{END} = m_1 - m_2$$

übrig. Damit ist die maximal insgesamt freiwerdende Energie die Differenz aus Gleichung (2.2) und Gleichung (2.11), also :

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

Wenn man die inneren Klammern auflöst ergibt sich

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

(2.14) $$E_{MAX} = 2 \cdot m_2 \cdot c^2 = 2 \cdot m_K \cdot c^2$$

Bei der Annäherung zweier Punktmassen bis auf die selbe Position ist es also nur möglich, die doppelte kleinere Masse in Energie umzusetzen, mehr nicht. In der Realität ist das auf Grund der endlichen Dichte der Massen natürlich unmöglich.

Ich möchte hier nur zwei Spezialfälle des Integrals der Gleichung (2.9) betrachten : $m_1 = m_2$ und m_1 sehr groß gegen m_2.

2.1. Fall $m_1 = m_2$ zwei gleiche Massen ziehen sich an

Für diesen Fall $m_1 = m_2$ (= m) kann man die Gleichung (2.9) auch so schreiben :

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

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

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

Als Integral geschrieben lautet die Gleichung dann :

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

Die Lösung dieser Integrale lautet :

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

Dabei ist k die Integrationskonstante und ist nicht dimensionslos, sondern hat die Dimension kg^{-1} und wurde negativ gewählt. Um m und r über den Bruchstrich zu bekommen, werden beide Seiten der Gleichung (2.18) jetzt mit $-(m \cdot r)$ multipliziert. Dann erhält man :

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

Aus dem rechten Term klammert man m aus und erhält :

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

Wenn man nach m umstellt erhält man :

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

Für die Integrationskonstante k setzt man als sinnvollen Wert ein :

(2.22) $$k = \frac{1}{m_0}$$

m_0 sei dabei die Masse m_1 oder m_2 bei unendlicher Entfernung r der Massen zueinander. Dadurch erhält man :

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

Diese Gleichung (2.23) 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 :

(2.24) $$m = m_0$$

und für r gegen null ergibt sich :

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

Die Abhängigkeit einiger Größen aus dem Gedankenexperiment von der Entfernung der Massen voneinander ist in den Bildern 2 bis 8 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. Der Schwarzschild-Radius R_{S0} ist definiert als :

(2.26) $$R_{S0} = \frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2}$$

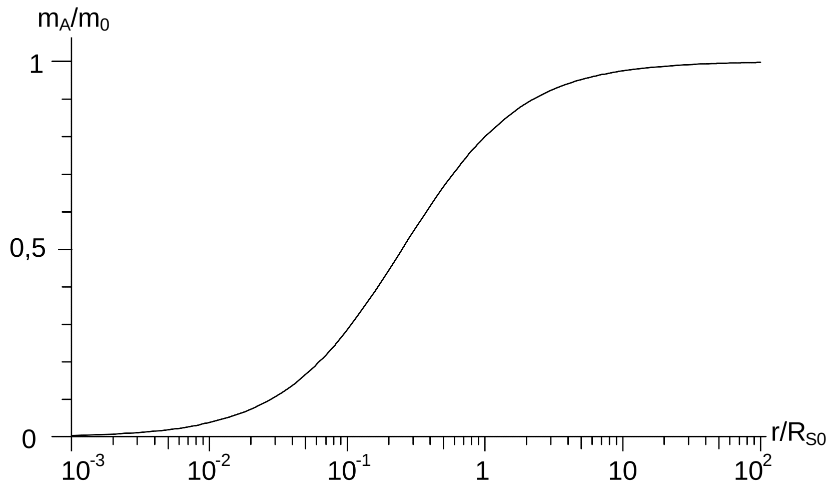

Bild 2 : Verlauf der Masse m_A/m_0 in Abhängigkeit von der Entfernung r/R_{S0}. m_A ist die aktuelle Masse, m_0 ist die Anfangsmasse, r ist die Entfernung der beiden Massen und R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der Anfangsmasse m_0 von Masse1 oder Masse2

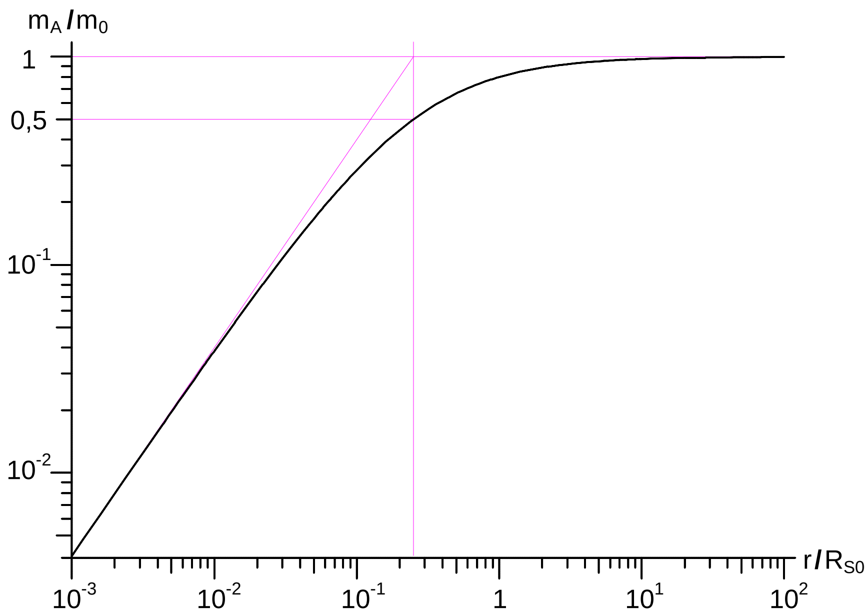

Bild 3: Darstellung der Masse m_A/m_0 in Abhängigkeit von der Entfernung r/R_{S0} im doppelt logarithmischen Maßstab. m_A ist die aktuelle Masse, m_0 ist die Anfangsmasse, r ist der Abstand der beiden Massen und R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der Anfangsmasse

Dadurch wird eine normierte Darstellung erzeugt. Aus den Bildern wird 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 2 und 3 dargestellt. Dabei ist die Masse als Verhältnis der aktuellen Masse m_A zur ursprünglichen Masse m_0 dargestellt. Auch dadurch wird eine Normierung erreicht. 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 2 ist die Masse im linearen Maßstab dargestellt, im Bild 3 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 der Geraden :

$$m = \frac{2 \cdot c^2}{G} \cdot r \qquad (2.25)$$

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 4 und 5 dargestellt. Auch hier wurde eine normierte Darstellung gewählt und auch hier ist im Bild 4 die Darstellung der Kraft im linearen Maßstab und im Bild 5 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-Radiusses ist diese Kraft proportional zu $1/r^2$. Unterhalb des Schwarzschild-Radiusses läuft die 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 :

$$(2.27) \qquad F_{MAX} = \frac{4 \cdot c^4}{G} = 4{,}8410 \cdot 10^{44}\ \text{N}$$

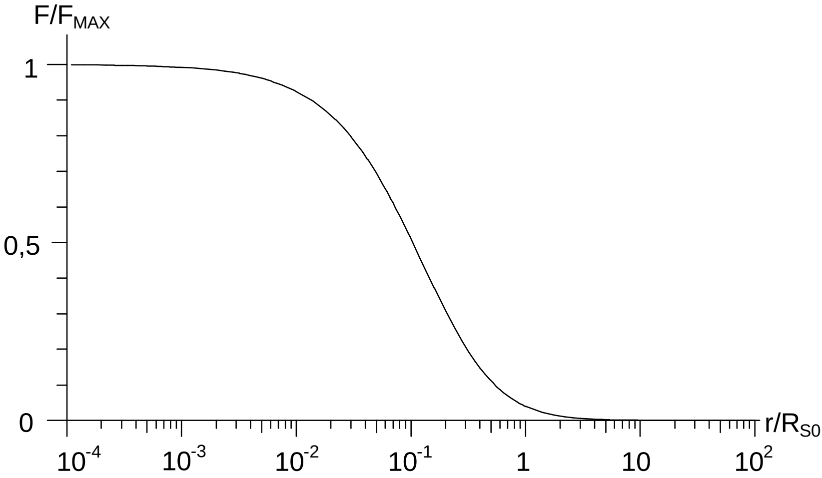

Bild 4 : Verlauf der Kraft in Abhängigkeit von der Entfernung. F_{MAX} ist die Kraft von $4{,}84 \cdot 10^{44}$ N, R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der ursprünglichen Masse Masse1 oder Masse2.

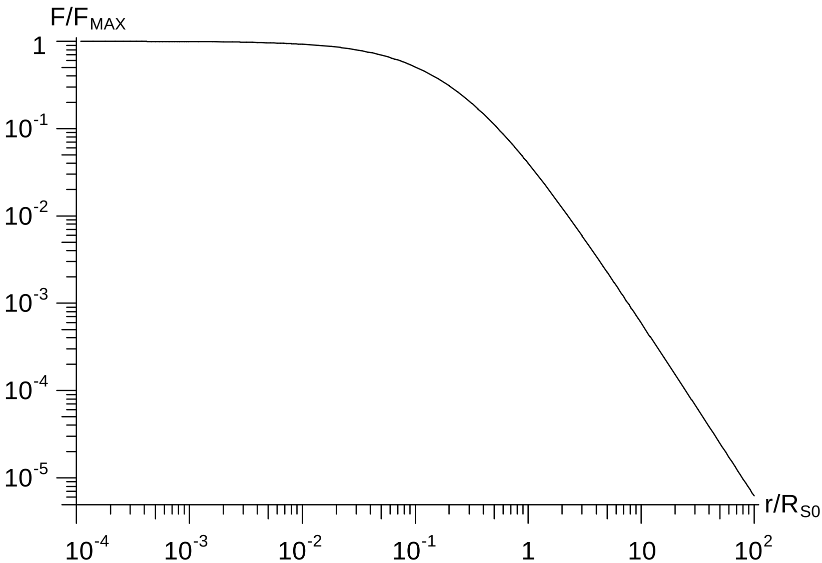

Bild 5 : Verlauf der Kraft F über die Entfernung r im doppelt logarithmischen Maßstab. Auch hier ist F_{MAX} die maximale Kraft von $4{,}84 \cdot 10^{44}$ N und R_{S0} ist der Schwarzschild-Radius der ursprünglichen Masse Masse1 oder Masse2.

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 6 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 6 sieht vergleichbar wie Bild 3 aus, da der aktuelle Schwarzschild-Radius ja über die Gleichung (2.26) 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 Masse1 und Masse2 sinkt, auch der aktuelle Schwarzschild-Radius R_{SA} sinkt. Im Bild 7 ist die Abhängigkeit des Verhältnisses der Entfernung r der beiden Massen zum aktuellen Schwarzschild-Radiusses 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 ¼ des aktuellen Schwarzschild-Radiusses R_{SA} annähern. Bei weiterer Annäherung sorgt der Masseverlust der Massen Masse1

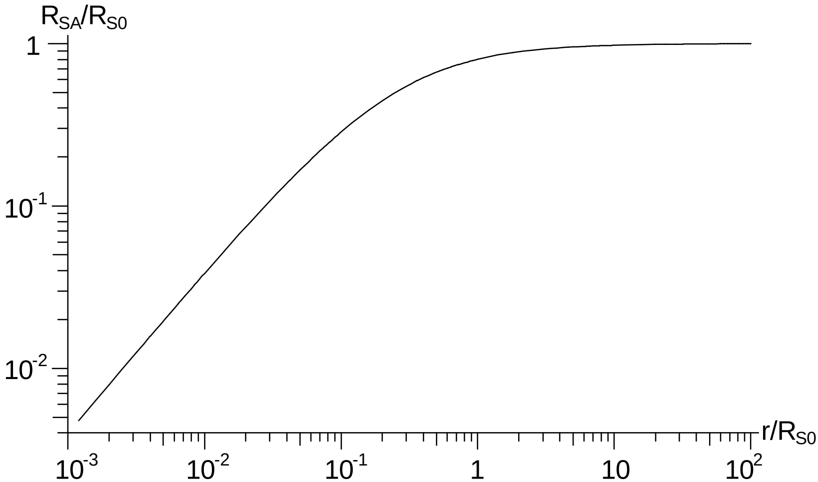

Bild 6 : Abhängigkeit des Verhältnisses des aktuellen Schwarzschild-Radiusses R_{SA} zum Schwarzschild-Radius R_{S0} der Anfangsmasse Masse1 oder Masse2 vom Abstand der Massen r in r/R_{S0}

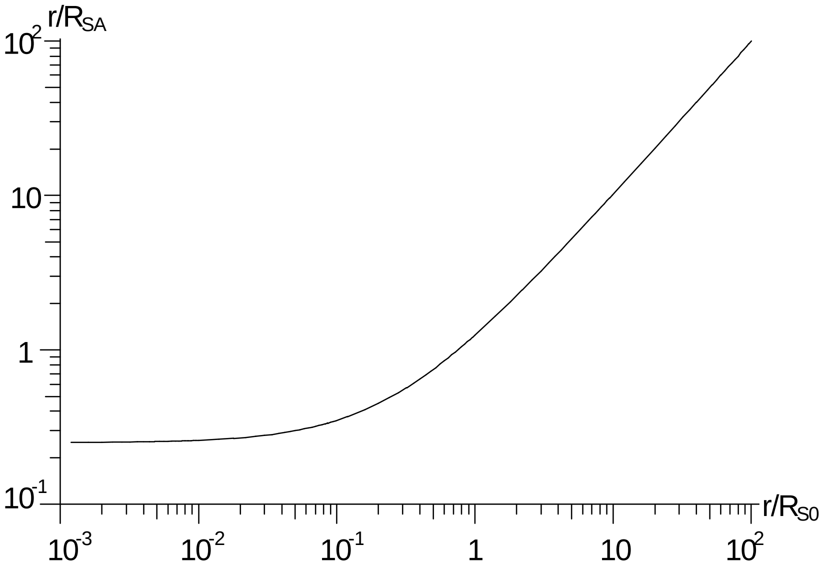

Bild 7 : Abhängigkeit des Verhältnisses des Abstandes r der Massen zum tatsächlichen Schwarzschild-Radius R_{SA}, vom Abstand r der Massen in R_{S0} .

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 wieweit 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

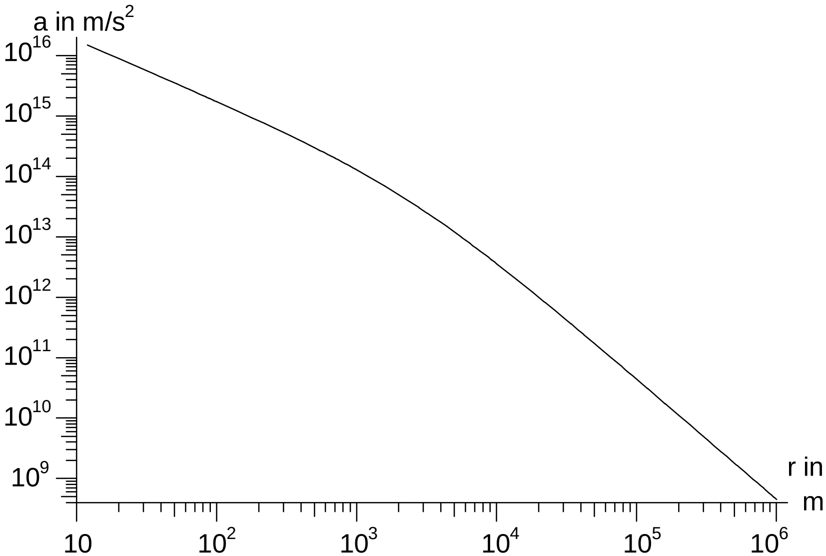

Bild 8 : Beschleunigung in m/s^2 der beiden Massen Masse1 und Masse2 aufeinander zu, wenn man sie frei fallen lassen würde in Abhängigkeit von der Entfernung der beiden Massen in m. Der angegebene Beschleunigungswert gilt nur für den Augenblick des Loslassens selbst ! Als Anfangsmasse wurde für jede 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 !

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 zueinander ist im Bild 8 dargestellt.

Wenn man sich Bild 8 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 8 nach links beliebig fortsetzen. Es fällt im Bild 8 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.

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 !

Im Bild 5 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. 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-Radiusses 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 bestimmter 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 betraglich 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 auf der Erde 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.

2.2. Fall $m_1 >> m_2$ große Masse1 zieht kleine Masse2 an (m_1 = konstant)

Alle Darstellungen bisher haben sich auf unser Gedanken-experiment mit zwei gleichgroßen Massen bezogen. Das folgende bezieht sich auf den Fall, daß m_1 sehr viel größer als m_2 ist. 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 ($1{,}8 \cdot 10^{17}$ Ws). 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 :

$$E_{MAX} = 2 \cdot m_2 \cdot c^2 = 2 \cdot m_K \cdot c^2 \qquad (2.14)$$

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 (2.9) m_1 und m_2 in m_G und m_K umbezeichnet und so umstellt, daß m_K links ist, erhält man :

$$(2.28) \qquad \frac{1}{m_K} \cdot \Delta m = \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2} \cdot \Delta r$$

Δm ist für m_G und m_K identisch. Dadurch ändert sich m_G fast überhaupt nicht, wenn m_G sehr viel größer als m_K ist, während m_K immer geringer wird und sich bei sehr großer Annäherung fast im nichts auflöst. Die Energie wird entsprechend dem Gedanken-experiment nach außen abgeführt ! m_G wird als konstant betrachtet.

Als Integral geschrieben lautet die Gleichung (2.28) dann :

$$(2.29) \qquad \int \frac{1}{m_K}\, dm = \int \frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r^2}\, dr$$

Die Lösung dieser Integrale für m_G = konstant lautet :

$$(2.30) \qquad \ln(m_K) = -\frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r} + k$$

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

$$(2.31) \qquad m_K = e^{\left(-\frac{G \cdot m_G}{2 \cdot c^2 \cdot r} + k \right)}$$

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

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

Für die Integrationskonstante k_2 wird m_{K0} als sinnvoller Wert 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 :

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

Diese Gleichung (2.33) beschreibt die Abhängigkeit der Masse einer sehr kleinen Masse m_K von der Entfernung zu einer sehr großen Masse m_G . Für r gegen unendlich ergibt sich $m_K = m_{K0}$ und für r gegen Null ergibt sich, daß auch m_K gegen Null geht.

Die Abhängigkeit der kleinen Masse m_K und der Kraft zwischen den Massen ist in den Bildern 9 und 10 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 (R_{SG} = 10 km) 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 9 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 10 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 bei der Annäherung zweier Massen, auch nicht bei Punktmassen.

Es wird deutlich, daß die freisetzbare potentielle Energie von der Masse und von der Dichte der beiden, sich aufeinander zu bewegenden Massen abhängig ist. Ebenso wird deutlich, daß es keine Singularitäten durch Gravitationsfelder oder elektrische Ladungen gibt, die Energiefreisetzung ist immer begrenzt, auch bei

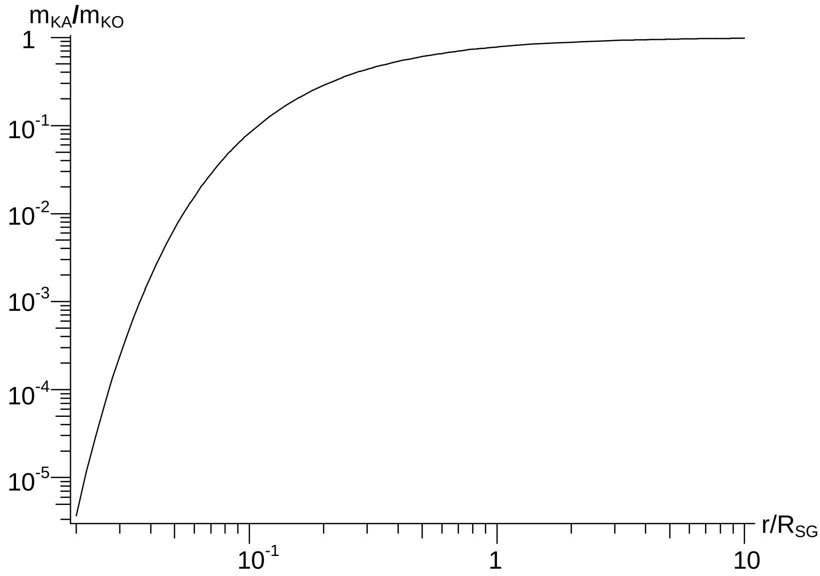

Bild 9 : Abhängigkeit der kleinen Masse vom Abstand zur großen Masse

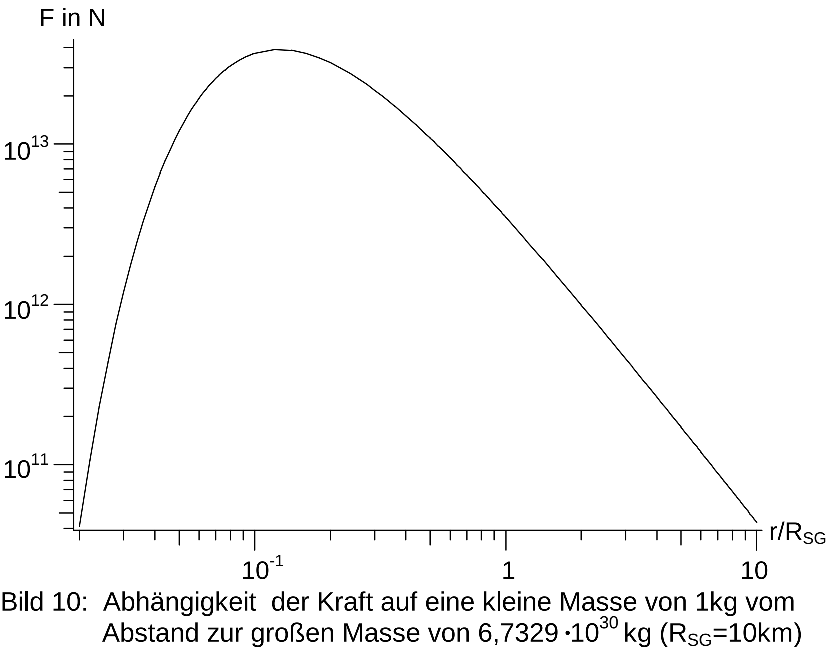

Bild 10: Abhängigkeit der Kraft auf eine kleine Masse von 1kg vom Abstand zur großen Masse von $6{,}7329 \cdot 10^{30}$ kg (R_{SG}=10km)

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 bekannte Dichte der Materie von etwa 10^{18} kg/m^3 ist die Annäherung vom zwei Massen aneinander begrenzt.. Eine Kugel mit $3 \cdot 10^{-27}$ 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 $1{,}5 \cdot 10^{13}$ m. Bei einer Dichte von 10^{18} kg/m^3 hat eine Kugel dieser Masse einen Radius von $1{,}3 \cdot 10^{7}$ 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 :

$$(2.34) \qquad F = -\frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot r^2}$$

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 nur 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.

Eine sehr interessante Schlußfolgerung ist, daß ein Körper nicht nur durch das Beschleunigen schwerer wird (Spezielle Relativittäts-theorie) 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 keinerlei Singularitäten. Die Masse eines Körpers ändert sich durch Änderung der kinetischen oder der potentiellen Energie.

3. Die Rotverschiebung an einer Masse

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 :

(3.1) $$E = h \cdot f$$

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

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

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

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 :

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

z ist die Rotverschiebung, f_S ist die Frequenz des Senders, f_B ist die Frequenz beim Beobachter, λ_S ist die Wellenlänge des Senders λ_B ist die Wellenlänge beim Beobachter. 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 :

(3.5) $$z = 2 \cdot \left(\frac{m_{K0}}{m_K} - 1 \right)$$

Damit läßt sich aus der Funktion für die kleine Masse m_K aus der Gleichung (2.33) auch die Rotverschiebung durch die große Masse m_G ausrechnen. Wenn man m_K und m_{K0} aus Gleichung (2.33) in Gleichung (3.5) einsetzt ergibt sich die Rotverschiebung z zu :

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

Diese Gleichung (3.6) beschreibt die Rotverschiebung in Abhängigkeit vom Abstand r zur Masse m. Wie diese Funktion grafisch dargestellt aussieht, ist in den Bildern 11 und 12 zu sehen. 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 12 ist neben der hier ausgerechneten Kurve für die Rotverschiebung nach Gleichung (3.6) (neue Kurve N) auch die klassische relativistische Rotverschiebung nach der Gleichung (3.7) :

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

mit aufgezeichnet. Diese Kurve nach klassischer Rotverschiebung ist mit K bezeichnet. Der Schwarzschild-Radius R_S der Masse ist als violette Linie eingezeichnet. Man sieht, daß die klassische Kurve K der Rotverschiebung bei $r=R_S$ gegen unendlich geht. Es entsteht die 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:

$$z = \frac{G \cdot m}{c^2 \cdot r} = \frac{R_S}{2 \cdot r} \tag{3.8}$$

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 bisher als Schwarze Löcher bezeichneten Massen strahlen elektromagnetische Wellen (Licht, Wärme) aus. Die Strahlung ist nur mehr oder weniger rotverschoben. Bei superschweren galaktischen Kernen ist diese Rotverschiebung allerdings so hoch, daß wir sie nur als schwarze Objekte wahrnehmen. Aber die Relativitätstheorie von Albert Einstein funktioniert auf diese Weise völlig ohne jede Singularität. Auch die Rotverschiebung hat keine Singularität.

Es wird deutlich, daß die freisetzbare potentielle Energie von der Masse und von der Dichte der beiden, sich aufeinander zu bewegenden Massen abhängig ist. Ebenso wird deutlich, daß es keine Singularitäten durch Gravitationsfelder oder elektrische Ladungen gibt. Egal, wie klein und dicht eine Masse oder eine Ladung ist. 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 ! Das Gravitationspotential ist immer endlich ! Auch bei Punktmassen !

Auch Energie (elektromagnetische Wellen) ist schwer und träge, hat also auch eine Masse und eine Gravitation. Aber aus der

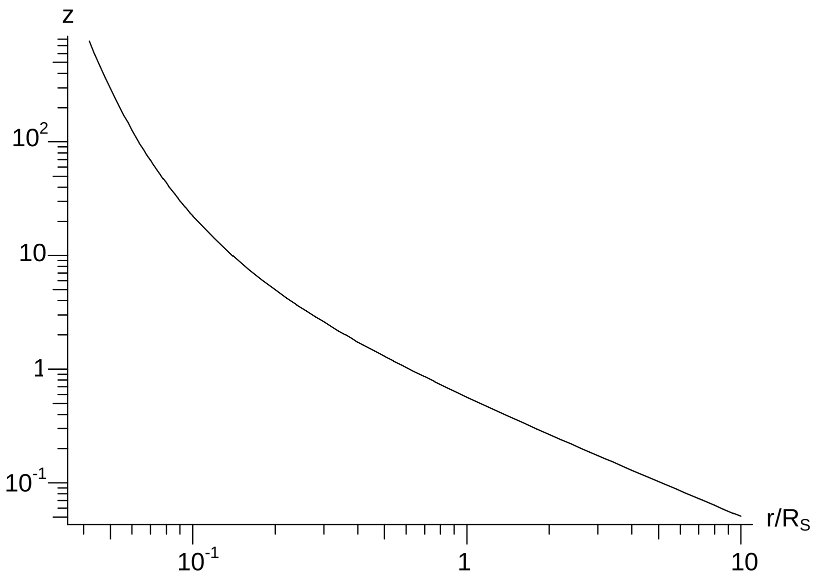

Bild 11 Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand von der großen schweren Masse

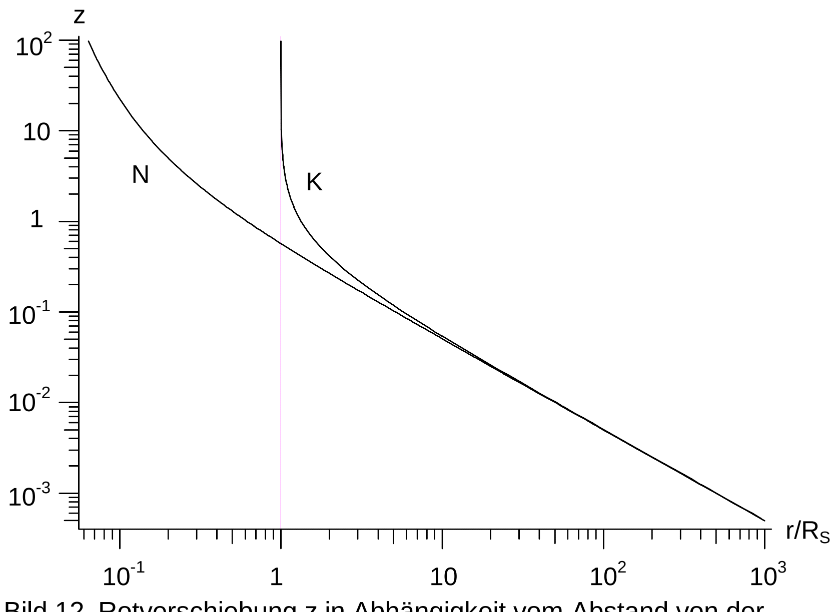

Bild 12 Rotverschiebung z in Abhängigkeit vom Abstand von der großen schweren Masse N=neue Kurve K=klassische Kurve

Tatsache daß es keinen Ereignishorizont gibt, folgert 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.

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 ! Durch diese Betrachtung ist die Relativitätstheorie in keiner Weise widerlegt worden. Es wurde nur die Feldverteilung im Nahfeld einer Masse korrigiert, sehr im Einsteinschen Sinn, ohne Singularitäten. Diese Feldverteilung im Nahfeld einer schweren dichten Masse ist bisher noch nie geprüft worden.

Eine Möglichkeit zur Überprüfung dieses Feldverlaufes bietet die Rotverschiebung und die Sichtbarkeit innerhalb des Schwarzschild-Radiusses. Wenn man sehr schwere dichte Massen (ehemals Schwarze Löcher) betrachtet, wird man feststellen, daß kleinere extrem dichte Massen (stellare Schwarze Löcher) nicht schwarz sind. Die Rotverschiebung auf der Oberfläche einer Kugel mit einer Dichte von 10^{18} kg/m^3 ist im Bild 13 dargestellt. Spätestens ab 10^{31} kg Masse waren das früher Schwarze Löcher. Sehr große Massen (z.B. Sagittarius A*) sind auf Grund der gewaltigen Rotverschiebung schwarz, aber auch bei diesen Objekten kommt meßbare Strahlung aus einem Bereich bis etwa zwei Dekaden innerhalb des Schwarzschild-Radiusses. Man kann diese Betrachtung hier also durchaus auch testen ! Dazu ist allerdings eine extreme Auflösung der Beobachtung erforderlich. Es ist zu hoffen, daß ein Zusammenschluß von Radioteleskopen (ALMA und weitere) die Möglichkeit zur notwendigen Auflösung bietet.

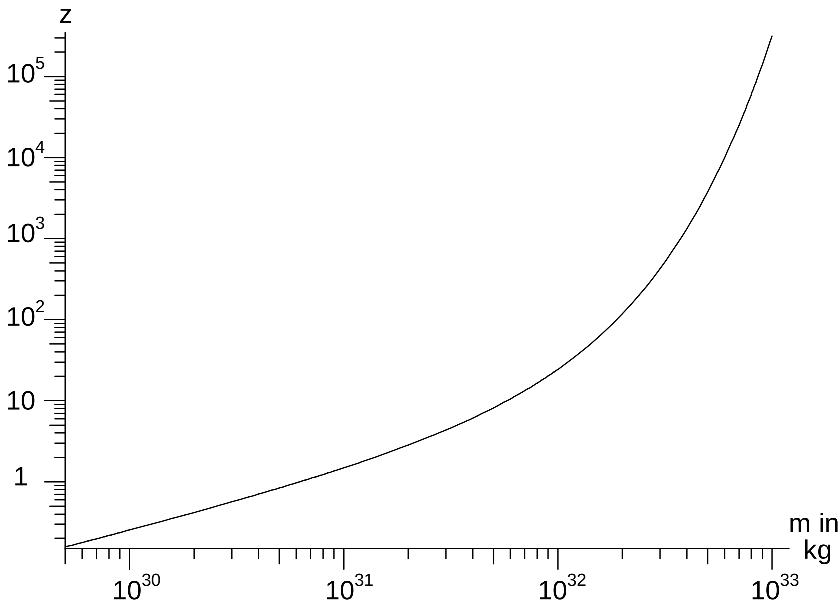

Bild 13: Rotverschiebung der Oberfläche einer Kugel in Abhängigkeit von der Masse bei einer Dichte der Kugel von 10^{18} kg/m^3

Es gibt noch weitere Möglichkeiten zur Prüfung dieser Feldverteilung. Zum Beispiel mit Hilfe der kosmologischen Rotverschiebung. Eine Möglichkeit zur Erklärung der kosmologischen Rotverschiebung und auch der „beschleunigten Expansion“ (Dunkle Energie) nur mit der Allgemeinen Relativitätstheorie wird in [4] beschrieben. Diese in [4] beschriebene Lösung für die kosmologische Rotverschiebung basiert auf dem hier beschriebenen Feldverlauf und auf der Gleichung (2.9). Diese Lösung kommt mit einem statischen Universum konstanter Dichte, der Allgemeinen Relativitätstheorie, einer Feldverteilung entsprechend dieser Betrachtung und ohne jede (Expansions-)Bewegung aus. Auch diese Lösung ist sehr im Einsteinschen Sinn. Es kann aber trotzdem die kosmologische Rotverschiebung einschließlich der verstärkten Zunahme der kosmologischen Rotverschiebung (beschleunigte Expansion, Dunkle Energie) beschrieben und hergeleitet werden. Ohne irgend eine spekulative nicht erklärbare Dunkle Energie zu benötigen !

4. Literatur

Als weiterführende und ergänzende Literatur kann hier empfohlen werden :

[1] Albert Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, Verlag Vieweg & Sohn Neuauflage Springer Verlag

[2] H.Hemme, Die Relativitätstheorie, Einstein mal einfach, Anaconda Verlag GmbH (nur SRT)

[3] Jürgen Altenbrunn, Eine kurze Geschichte der Zeit, Teil 2, oder über die Natur von Zeit und Raum, Selbstverlag (PDF im Internet, www.altenbrunn.de/wissen.htm)

[4] Jürgen Altenbrunn, Die kosmologische Rotverschiebung als Folge der Allgemeinen Relativitätstheorie, Selbstverlag, (PDF im Internet, www.altenbrunn.de/wissen.htm)

[5] Paul Marmet, Die natürliche Längenkontraktion infolge der Schwerkraft, Übersetzung von Mathias Hüfner, (PDF im Internet)

[6] Andreas Müller, Lexikon der Astrophysik, aus dem Wissensportal Astrophysik (PDF aus dem Internet)

[7] Andreas Müller, Schwarze Löcher, das dunkelste Geheimnis der Gravitation (PDF aus dem Internet)

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