Aufgabe: Widerlegen Sie die Auffassung, wonach sich das Weltall unbegrenzt ausdehnt und aus dem Nichts entstanden ist.

Lösung: Um diese Aufgabe lösen zu können, müssen wir uns zunächst vor Augen führen, was beim Urknall genau geschieht. Es passierte dabei in etwa folgendes: Die Singularität, welche die gesamte Masse des Universums enthielt, besaß eine äußerst niedrige Temperatur mit einer kinetischen Energie von null. Jedoch war zu Beginn des Universums die potentielle Energie maximal, und zwar sowohl im Universum als auch im Antiuniversum. Diese potentielle Energie ist jene dunkle Energie, die man nicht sieht, weil sie voll in einer Singularität steckt, die außerhalb des sichtbaren Universums liegt. Unter dem Druck der Gravitation, den man sich vereinfacht dadurch vorstellen kann, daß das Potential in der Singularität unendlich steil ansteigt, wird die potentielle Energie unendlich, bis die Singularität schließlich platzt und in unzählige kleine, massearme Schwarze Löcher zerfällt, welche extrem heiß sind und daher ihre potentielle in kinetische Energie umwandeln können, was die große Singularität wiederum nicht kann. Es gibt im Universum in etwa so viele Schwarze Löcher, wie es Galaxien gibt. Die Lebensdauer der die gesamte Masse des Alls auf sich vereinenden Singularität ist proportional zur dritten Potenz dieser Masse, die Lebensdauer der vielen kleinen Singularitäten proportional zur dritten Potenz der Masse der jeweiligen Galaxie, also viel, viel kürzer. Dementsprechend schnell zerstrahlen diese heißen kleinen Schwarzen Löcher in den sie umgebenden Außenraum, d.h. sie verlieren Masse. Ihre thermische d.h. kinetische Energie wird dabei in potentielle Energie des sich ausdehnenden Alls umgewandelt, wobei die Temperatur der Restmasse im Innern der Schwarzen Löcher noch weiter ansteigt, während der umgebende Raum sich während der Ausdehnung des Alls abkühlt. Sobald sich Atome gebildet haben, verliert die bewegte Masse durch die Aussendung von Licht Strahlungsenergie, wodurch sich die Radialbewegung relativ zum Zentrum der Galaxie verlangsamt. Obwohl sich das All als Ganzes ausdehnt, verschlingen die Schwarzen Löcher innerhalb der Galaxien jegliche sie umgebende Materie, wobei sie aufgrund ihres zunehmenden Massereichtums immer weiter abkühlen. Bei der Vereinigung Schwarzer Löcher entstehen noch größere Schwarze Löcher mit noch niedrigeren Temperaturen, bis schließlich der Schwarzschildradius des Universums erreicht ist. Damit verschwindet zugleich der Außenraum, alles wird in die Singularität hineingezogen, bis sich bei hinreichend hoher Raumkrümmung der Prozeß des Urknalls wiederholt. Bei einem Schwarzen Loch liegen die Verhält wohl so: Die thermische d.h. kinetische Energie ist reziprok zu seiner Masse, die potentielle proportional zur Krümmung des Raumes. Krümmt sich das gesamte Weltall zu einer Singularität, so ist der Krümmungsradius anfangs gleich unendlich, die Gravitation krümmt das All daher wesentlich stärker als etwa ein Schwarzes Loch mit einem Schwarzschildradius, der wesentlich kleiner ist als der des Alls. Das All als Ganzes hat zu Beginn maximale potentielle Energie, aber minimale thermische sprich kinetische, ehe es in viele Singularitäten mit höherer kinetischer, aber dafür niedrigerer potentieller Energie zerfällt. Durch das Einfangen von Masse und die Verschmelzung sämtlicher Schwarzen Löcher, was zu einer Erhöhung des Krümmungsradius und damit der potentiellen Energie und einer Erniedrigung der kinetischen Energie beiträgt, nähert sich das All wieder seinem ursprünglichen Zustand wie beim Urknall. Es dehnt sich ja wie gesagt nur im bewegten Bezugssystem aus, im Bezugssystem der Singularität hingegen zieht es sich zusammen. Irgendwann ist allerdings auch die weitere Ausdehnung des Alls aufgrund des begrenzenden Schwarzschildradius nicht mehr möglich und weil die kinetische Energie mit dem Erlöschen der Ruhemasse aufgrund des Protonenzerfalls auf Null absinkt.

Wohl aber besitzt das All aber weiterhin potentielle Energie, d.h. sein Leben ist damit keineswegs beendet. Unser Weltall ist auf jeden Fall endlich, sonst hätte es einen unendlichen Schwarzschildradius und seine Masse wäre dann ebenfalls unendlich.

Betrachtet man das Weltall als ein einziges Schwarzes Loch, so beträgt bei einer rechnerisch ermittelten Masse des Universums M von 10^{54} kg das maximal erreichbare Weltalter

$$\tau = \frac{M^3}{3\Lambda} \approx \frac{10^{162}\ \mathrm{kg}^3}{3\cdot 4\cdot 10^{15}\ \mathrm{kg}^3\ \mathrm{s}^{-1}} = \frac{10^{162}\cdot 3{,}17\cdot 10^{-8}}{1{,}2\cdot 10^{16}}\,\mathrm{a} = 2{,}64\cdot 10^{138}\ \mathrm{a},$$

wobei Λ eine Konstante ist.[1] Der Schwarzschildradius R_S des Universums wäre dann proportional zu seiner Masse,

$$R_S = \frac{2MG}{c^2} = \frac{2\cdot 10^{54}\,\mathrm{kg}\cdot 6{,}674\cdot 10^{-11}\,\mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\mathrm{s}^{-2}}{2{,}998^2\cdot 10^{16}\,\mathrm{m}^2\mathrm{s}^{-2}} = 1{,}485\cdot 10^{27}\ \mathrm{m} = 157\cdot 10^9\ \mathrm{Lj},$$

wobei G die Gravitationskonstante und c die Lichtgeschwindigkeit ist. Das Universum hätte nach dieser Rechnung eine Größe von 157 Milliarden Lichtjahren. Sein Radius wäre demnach etwa 11,4mal so groß wie der derzeit gemessene Radius von 13,8 Milliarden Lichtjahren. Wenn also das Weltall vor 13,8 Milliarden Jahren entstanden ist, hat das Licht in dieser Zeit einen Radius von

$$R = c\Delta t = 2{,}998\cdot 10^8\,\mathrm{m\,s}^{-1}\cdot 13{,}8\cdot 10^9\cdot 3{,}154\cdot 10^7\,\mathrm{s} = 130{,}5\cdot 10^{24}\,\mathrm{m} = 13{,}8\cdot 10^9\ \mathrm{Lj}$$

zurückgelegt. Es kann sich nicht weiter ausgedehnt haben, da nichts schneller sein kann als das Licht.

Je größer und damit massereicher ein Schwarzes Loch ist, desto weniger strahlt es. Daraus kann man die Schlußfolgerung ziehen, daß das All, wenn es denn von einem Schwarzen Loch ganz ausgefüllt wird, aufgrund der riesigen Masse M des Universums gar nicht mehr strahlt, da seine Temperatur

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi GMk} = \frac{1{,}055\cdot 10^{-34}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{kg\,s}^{-1}\cdot 2{,}998^3\cdot 10^{24}\,\mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-3}}{8\pi\cdot 6{,}674\cdot 10^{-11}\,\mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\mathrm{s}^{-2}\cdot 10^{54}\,\mathrm{kg}\cdot 1{,}381\cdot 10^{-23}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{kg\,s}^{-2}\mathrm{K}^{-1}} = 1{,}227\cdot 10^{-31}\,\mathrm{K}$$

auf nahezu Null abgefallen ist. Bei zwei Billionen Galaxien beträgt die durchschnittliche Masse eines Schwarzen Lochs, welches alle sie umgebenden Sterne verschlungen hat, nur mehr $5\cdot 10^{41}$ kg, was einer Temperatur von $2{,}45\cdot 10^{-19}$ K entspricht. Der Schwarzschildradius einer solchen Galaxie läge dann bei

$$R_S = \frac{2MG}{c^2} = \frac{2\cdot 5\cdot 10^{41}\,\mathrm{kg}\cdot 6{,}674\cdot 10^{-11}\,\mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\mathrm{s}^{-2}}{2{,}998^2\cdot 10^{16}\,\mathrm{m}^2\mathrm{s}^{-2}} = 7{,}425\cdot 10^{14}\,\mathrm{m} = 0{,}0785\ \mathrm{Lj},$$

das sind etwa 1 Million Sonnendurchmesser, und das ist nichts im Vergleich zu unserem Abstand vom Andromeda-Nebel von 2,5 Millionen Lichtjahren. Da die Temperatur stets vom wärmeren zum kälteren Körper fließt und das Weltall schließlich die oben angegebene Temperatur von $1{,}227\cdot 10^{-31}$ K annehmen muß, verlieren sämtliche noch vorhandenen Schwarzen Löcher

[1] Das sind 10 Zehnerpotenzen mehr als der Shanghai Tower Etagen hat.

ihre Masse durch Hawking-Strahlung, wobei dann aber der Schwarzschildradius auf 157 Milliarden Lichtjahre anwächst, weil sich die in den Galaxien vorhandenen Schwarzen Löcher auflösen und alle Energie in einer Singularität zusammenströmt. Wir betrachten im Anschluß das Universum so, als bestünde es nur aus zwei Schwarzen Löchern.

Die Entropie des Universums erhalten wir unter der Annahme, daß es sich wie ein Schwarzes Loch verhält, aus der Formel

$$S = \frac{kc^3 A}{4\hbar G} = \frac{\pi k c^3 R_S^2}{\hbar G} = \frac{4\pi k G M^2}{\hbar c} = \frac{\hbar c^5}{16\pi G k T^2}.$$

Zunächst können wir feststellen, daß die Entropie zweier Schwarzer Löcher halber Masse

$$\begin{aligned} S_1 + S_2 &= \frac{4\pi kG}{\hbar c}\left(\frac{M}{2}\right)^2 + \frac{4\pi kG}{\hbar c}\left(\frac{M}{2}\right)^2 = \frac{\pi kGM^2}{\hbar c} + \frac{\pi kGM^2}{\hbar c} = \frac{2\pi kGM^2}{\hbar c} \\ &= \frac{1}{2}\frac{4\pi kGM^2}{\hbar c} = \frac{1}{2}S \end{aligned}$$

zusammen nur halb so groß ist wie die Entropie des gesamten Universums. Allgemein folgt für n Schwarze Löcher

$$\begin{aligned} S_1 + S_2 + \ldots + S_n &= \frac{4\pi kG}{\hbar c}\left(\frac{M}{n}\right)^2 + \ldots + \frac{4\pi kG}{\hbar c}\left(\frac{M}{n}\right)^2 \\ &= \frac{1}{n^2}\frac{4\pi kGM^2}{\hbar c} + \ldots + \frac{1}{n^2}\frac{4\pi kGM^2}{\hbar c} = \frac{1}{n}\frac{4\pi kGM^2}{\hbar c} = \frac{1}{n}S \end{aligned}$$

mit

$$S = \frac{4\pi \cdot 1{,}381 \cdot 10^{-23}\,\mathrm{m^2\,kg\,s^{-2}K^{-1}} \cdot 6{,}674 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{m^3\,kg^{-1}s^{-2}} \cdot 10^{108}\,\mathrm{kg^2}}{1{,}055 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{m^2\,kg\,s^{-1}} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}\,\mathrm{m\,s^{-1}}} = 3{,}66 \cdot 10^{101}\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}.$$

Der Maximalwert der Entropie des Universums kann daher nur erreicht werden, wenn sich alle Schwarzen Löcher wieder zu einem einzigen Schwarzen Loch vereinigen, so daß im Grenzfall gilt:

$$\lim_{n\to 1}\sum_{i=1}^{n} S_n = S \cdot \lim_{n\to 1}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{n} = S.$$

Umgekehrt kann das Weltall nur mit verschwindender Entropie starten, wenn das All zu Beginn in nahezu unendlich viele Schwarze Löcher zerfällt,

$$\lim_{n\to \infty}\sum_{i=1}^{n} S_n = S \cdot \lim_{n\to \infty}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{n} = 0,$$

von denen sich jedoch einige sofort mit anderen zu massereicheren Schwarzen Löchern vereinigen. Jene Kleinstlöcher haben fast verschwindende Masse und damit nahezu unendlich hohe Temperatur.

Der Entropie des Alls entspricht dabei eine Wärmeenergie von

$$Q = TS = 1,227 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{K} \cdot 3,66 \cdot 10^{101}\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} = 4,49 \cdot 10^{70}\,\mathrm{J} \approx 4,5 \cdot 10^{70}\,\mathrm{J},$$

das ist genau der halbe Wert der Gesamtenergie des Alls,

$$E = Mc^2 = 10^{54}\,\mathrm{kg} \cdot 2,998^2 \cdot 10^{16}\,\mathrm{m^2 s^{-2}} = 8,99 \cdot 10^{70}\,\mathrm{J} \approx 9 \cdot 10^{70}\,\mathrm{J}.$$

Die andere Hälfte steckt demnach in der potentiellen Energie, und potentielle und kinetische Energie sind beim Urknall gleich groß. Mithin gilt für das All der Virialsatz für harmonische Schwingungen: kinetische und potentielle Energie sind gleich der halben Gesamtenergie:

$$Q = -W = \frac{1}{2}E.$$

Das folgt auch aus folgender Überlegung. Im Ruhesystem des Universums gilt für die innere Energie U der erste Hauptsatz der Thermodynamik:

$$U = Q + W = TS - pV_S.$$

Da die innere Energie nur von der Temperatur abhängt und bei maximaler Masse des Alls gegen Null geht, gilt $TS = pV_S$. Mit $V_S = (4\pi/3)R_S^3$ können wir den Druck p des Alls berechnen:

$$p = \frac{TS}{V_S} = \frac{3}{4\pi}\frac{1}{R_S^3}\frac{\hbar c}{4\pi R_S k}\frac{\pi k c^3 R_S^2}{\hbar G} = \frac{3}{16\pi}\frac{c^4}{G R_S^2} = \frac{3}{64\pi}\frac{c^8}{G^3 M^2}$$
$$= \frac{3}{64\pi}\frac{2,998^8 \cdot 10^{64}\,\mathrm{m^8 s^{-8}}}{6,674^3 \cdot 10^{-33}\,\mathrm{m^9\,kg^{-3} s^{-6}} \cdot 10^{108}\,\mathrm{kg^2}} = 3,28 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m^2}},$$

der wie die Temperatur T verschwindend gering ist. Mit einem Volumen

$$V_S = \frac{4\pi}{3}R_S^3 = \frac{4\pi \cdot 1,485^3 \cdot 10^{81}\,\mathrm{m^3}}{3} = 1,372 \cdot 10^{82}\,\mathrm{m^3}$$

ergibt sich aus dem Virialsatz für harmonische Schwingungen eine potentielle Energie von

$$pV_S = 3,28 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m^2}} \cdot 1,372 \cdot 10^{82}\,\mathrm{m^3} = 4,50 \cdot 10^{70}\,\mathrm{J}.$$

Wir fassen nun gedanklich sämtliche Schwarzen Löcher zu lediglich zwei Schwarzen Löchern zusammen. Wegen

$$M = \frac{c^2}{2G}R_S = M_0 + M_\infty = \frac{c^2}{2G}(R_0 + R_\infty)$$

können sich deren Schwarzschildradien gerade eben berühren, d.h. $R_S = R_0 + R_\infty$, sie können jedoch keinesfalls überlappen.[2] Das ist allerdings ein Spezialfall, bei dem es wegen $V_0 = V_\infty$ nur dunkle Energie gibt: $M = M_0 + M_\infty$.

---

[2] Sonst gäbe es uns nicht. Wir leben also klarerweise außerhalb eines Schwarzen Lochs.

Sei nun $M = M_0 + \Delta M + M_\infty$ die gesamte Masse des Universums mit der inneren Masse M_0 der Singularität des initialen Schwarzen Lochs, der äußeren Masse M_∞ einer reziproken Singularität[3] auf dem Rand des Universums und der Masse ΔM der die beiden Schwarzen Löcher umgebenden Schwarzkörperstrahlung. Zwischen den Singularitäten und dem umgebenden All herrscht Strahlungsgleichgewicht wie allgemein zwischen Schwarzen Körpern, d.h. wenn das Schwarze Loch durch Hawking-Strahlung zerfällt, nimmt die Umgebung dieselbe Energie in Form von absorbierter Strahlung wieder auf, weil die Gesamtmasse des Alls konstant sein muß.

Die Masse des Alls setzt sich also im Falle, daß die Schwarzen Löcher zerstrahlen, aus drei Anteilen zusammen:

$$M = \int \rho(r)\, d^3r = (M_0 - \Delta M) \int\limits_0^{V_0 - \Delta V} \delta(\vec{r})\, d^3r + \int\limits_{V_0 - \Delta V}^{V_\infty + \Delta V} \bar{\rho}\, d^3r + (M_\infty + \Delta M)$$
$$\times \int\limits_{V_\infty + \Delta V}^{V_S} \delta(\vec{r} - \vec{R}_S)\, d^3r,$$

wobei V_S das Volumen des Universums bei maximaler Expansion und V_0 das Volumen einer Kugel mit Schwarzschildradius R_0 ist. Die Masse des Alls ändert sich während der Ausdehnung nicht, denn die Ableitung

$$\frac{dM}{dM_0} = \int\limits_0^{V_0 - \Delta V} \delta(\vec{r})\, d^3r - \int\limits_{V_\infty + \Delta V}^{V_S} \delta(\vec{r} - \vec{R}_S)\, d^3r = 0$$

verschwindet, d.h. $M = \text{const}$. Ferner gilt $0 \le M_0 \le M$. Im Innern des Schwarzen Lochs befindet sich aufgrund der Raumkrümmung bei voller Expansion des Raums nur potentielle Energie, während die Entropie und damit die kinetische Energie auf dem Rand des Universums konzentriert ist. Die Entropie kann nur zunehmen, wenn das All Fahrt aufnimmt. Dazu muß die Singularität in unzählige extrem kleine Schwarze Löcher zerfallen, die sich am Ende wieder zu einem einzigen gewaltigen Schwarzen Loch vereinigen (siehe Abb. 1).

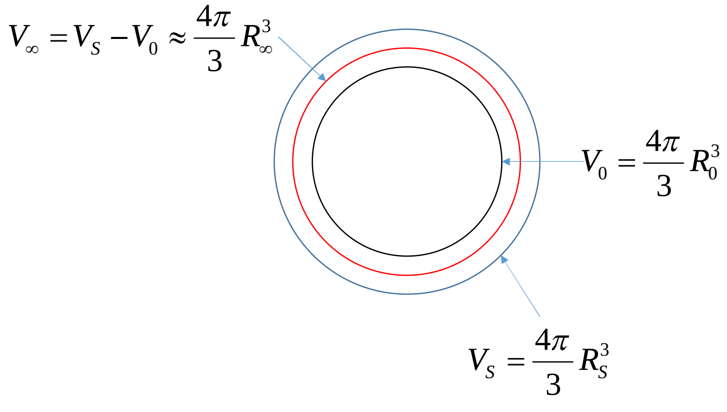

Abbildung 1. Schematische Veranschaulichung der Masseverhältnisse im Universum

[3] Eine reziproke Singularität konzentriert alle Masse in einer Sphäre um die Punktsingularität und ist zu dieser komplementär.

Wegen

$$\int_{V_S} \delta(\vec{r})\,d^3r = \int_0^{V_0-\Delta V} \delta(\vec{r})\,d^3r + \int_{V_0-\Delta V}^{V_S} \delta(\vec{r})\,d^3r = \int_0^{V_0-\Delta V} \delta(\vec{r})\,d^3r$$

und

$$\int_{V_S} \delta\left(\vec{r}-\vec{R}_S\right)d^3r = \int_0^{V_\infty+\Delta V} \delta\left(\vec{r}-\vec{R}_S\right)d^3r + \int_{V_\infty+\Delta V}^{V_S} \delta\left(\vec{r}-\vec{R}_S\right)d^3r = \int_{V_\infty+\Delta V}^{V_S} \delta\left(\vec{r}-\vec{R}_S\right)d^3r$$

sowie

$$\int_{V_S} \bar{\rho}\,d^3r = \int_0^{V_0-\Delta V} \bar{\rho}\,d^3r + \int_{V_0-\Delta V}^{V_\infty+\Delta V} \bar{\rho}\,d^3r + \int_{V_\infty+\Delta V}^{V_S} \bar{\rho}\,d^3r = \int_{V_0-\Delta V}^{V_\infty+\Delta V} \bar{\rho}\,d^3r$$

folgt für die Gesamtmasse des Universums der geschlossene Ausdruck

$$M = \int_{V_S} \left[\left(M_0-\Delta M\right)\delta(\vec{r}) + \bar{\rho} + \left(M_\infty+\Delta M\right)\delta\left(\vec{r}-\vec{R}_S\right)\right]d^3r.$$

Integriert ergibt das

$$M = M_0 + \bar{\rho}\left(V_\infty - V_0 + 2\Delta V\right) + M_\infty,$$

wobei

$$\bar{\rho}(\vec{r}) = \begin{cases} 0 & \text{für} \quad 0 \le |\vec{r}| \le R_0 - \Delta R_0, \\ \bar{\rho} & \text{für} \quad R_0 - \Delta R_0 < |\vec{r}| < R_\infty + \Delta R_0, \\ 0 & \text{für} \quad R_\infty + \Delta R_0 \le |\vec{r}| \le R_S, \end{cases}$$

was am Ende der Ausdehnung nur im Grenzfall

$$\lim_{V_\infty \to V_S} M = M_0 + \lim_{V_\infty \to V_S} \int_{V_S} \bar{\rho}\,d^3r + M_\infty = M_0$$

ein sinnvolles Ergebnis liefert. In jedem Fall bleibt aber die Masse in den beiden Singularitäten erhalten, weil sich die Energie dazwischen energetisch auf beide Singularitäten aufteilt.

Im allgemeinen Fall für $\Delta M \neq 0$, d.h. wenn auch materieerfüllter Raum homogener Dichte $\bar{\rho}$ existiert, der heiße Schwarze Löcher enthalten kann, lautet die Verteilung

$$\rho(\vec{r}) = \begin{cases} \left(M_0-\Delta M\right)\delta(\vec{r}) & \text{für} \quad 0 \le |\vec{r}| \le R_0 - \Delta R_0, \\ \bar{\rho} & \text{für} \quad R_0 - \Delta R_0 < |\vec{r}| < R_\infty + \Delta R_0, \\ \left(M_\infty+\Delta M\right)\delta\left(\vec{r}-\vec{R}_S\right) & \text{für} \quad R_\infty + \Delta R_0 \le |\vec{r}| \le R_S. \end{cases}$$

Für $\Delta M \to 0$, d.h. wenn

$$\rho(\vec r) = \begin{cases} M_0\delta(\vec r) & \text{für} \quad 0 \le |\vec r| \le R_0, \\ 0 & \text{für} \quad R_0 = |\vec r| = R_\infty, \\ M_\infty \delta(\vec r - \vec R_S) & \text{für} \quad R_\infty \le |\vec r| \le R_S, \end{cases}$$

besteht die gesamte Energie des Alls aus nur mehr zwei Beiträgen, und zwar den Anteilen der Anfangs- und der Endsingularität, während der Raum dazwischen, der mit der homogenen Dichte $\bar\rho$ ausgefüllt ist, verschwindet. Soviel zum sichtbaren Teil des Universums, dessen Schwarze Löcher gleichmäßig über das Universum verteilt sind, während wir das Schwarze Loch auf dem Rand des Universums nicht sehen können, weil unsere Teleskope nicht bis an die Grenzen des Weltalls reichen. Im Grenzfall

$$\lim_{\Delta M \to M_0} \rho(\vec r) = M\delta(\vec r - \vec R_S)$$

ist die gesamte Energie auf dem Rand des Weltalls gespeichert und die Dichte hat die Verteilung

$$\rho(\vec r) = \begin{cases} \sigma_R \delta(r - R_S) & \text{für } r = R_S, \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

Sollten die Schwarzen Löcher immer weiter zerfallen, gilt in diesem Fall

$$\lim_{M_0 \to 0} \rho(\vec r) = M\delta(\vec r - \vec R_S) = \begin{cases} 0 & \text{für} \quad 0 \le |\vec r| < R_S, \\ \rho(\vec R_S) & \text{für} \quad |\vec r| = R_S. \end{cases}$$

Wenn sie zunehmen, was aufgrund der Entropiezunahme zu erwarten ist, hätten wir

$$\lim_{M_0 \to M} \rho(\vec r) = M\delta(\vec r) = \begin{cases} \rho(0) & \text{für} \quad |\vec r| = 0, \\ 0 & \text{für} \quad 0 < |\vec r| \le R_S. \end{cases}$$

An seinem Ende besitzt das Weltall seine maximale Entropie, wie man aufgrund des Zweiten Hauptsatzes auch vermuten möchte. Wohin sonst sollte die Wärme in einem abgeschlossenen System wie dem Universum abfließen? Aus dem All gibt es kein Entkommen. Es besitzt kein Äußeres, sondern ist vollständig gekrümmt, auch wenn der Krümmungsradius bei maximaler Ausdehnung sehr groß ist. Das Schwarze Loch zu Beginn des Universums und das am Ende können nur dann die volle Gesamtenergie aufnehmen, wenn eines von beiden verschwindenden Krümmungsradius hat und das andere maximalen. Singularitäten sind sie beide, nur hat diejenige mit der verschwindenden Masse auch einen verschwindenden Krümmungsradius. Die Masse wandert also periodisch zwischen den beiden Singularitäten hin und her, und wenn der Raum in einer der beiden nicht mehr vorhanden ist, verschwindet mit der Masse auch die Raumzeit, d.h. sie fängt wieder von vorne an, und das geht ewig so weiter. Es gibt also keinen direkten Zeitanschluß, weil die Zeit jedesmal zurückgesetzt wird, wenn sie abgelaufen ist, wie im übrigen auch der Raum, wenn er seine volle Ausdehnung erreicht hat. Auch die Zeit hat wie der Raum ihre Grenzen. Sie endet dort, wo sie beginnt. Trotzdem ist das kein ewiger Ablauf, denn wir befinden uns immer irgendwo in der Zeit. Der Zeitpunkt des Urknalls stellt diesbezüglich keine Bevorzugung oder Besonderheit dar, denn die Gesetze der Physik sind universell und lassen keine Ausnahmen zu.

