

# Physikaufgabe 142

[Home](#) | [Startseite](#) | [Impressum](#) | [Kontakt](#) | [Gästebuch](#)

**Aufgabe:** Beschreiben Sie die energetischen Verhältnisse im All bei seinem Anfang und seinem Ende.

**Lösung:** Damit das Weltall beginnen kann, muß es erst einmal geendet haben, daher betrachten wir die Zustände am Ende des Universums zuerst. Wenn das All sein Ende erreicht hat, ist seine gesamte Masse in einer sogenannten Randsingularität<sup>1</sup> enthalten. Das ist in der linken Spalte von Tab. 1 dargestellt. Temperatur und Druck sind auf null abgefallen, Volumen und Entropie haben beide ihr Maximum erreicht. Am Ende der Raumzeit enthält die Randsingularität die gesamte Masse  $M$ , die sich komplett auf einer Sphäre mit Schwarzschildradius  $R_S$  befindet. Die maximale Geschwindigkeit ist erreicht, da sich das Universum nunmehr vollständig ausgedehnt hat und alle äußere Energie in Form von potentieller und kinetischer Energie vorliegt. Die innere Energie  $U$  besteht ausschließlich aus Wärme, da die Entropie bis auf ihr Maximum zugenommen hat und für Arbeit kein Spielraum mehr bleibt. Arbeit kann nämlich bei maximaler Ausdehnung nicht mehr verrichtet werden. Sie muß allerdings der Punktsingularität erst zugeführt werden, daher taucht sie dort in Form von dunkler Energie mit negativem Vorzeichen auf.

$X$	Rand	$\Delta X$	Punkt	$\Delta X$	$\Sigma X$	$\Sigma \Delta X$
$M$	$M$	$-M$	0	$M$	$M$	0
$R_S$	$R_S$	$-R_S$	0	$R_S$	$R_S$	0
$E_{pot}$	$E_{pot}$	$-E_{pot}$	0	$E_{pot}$	$E_{pot}$	0
$E_{kin}$	$-2E_{pot}$	$2E_{pot}$	0	$-2E_{pot}$	$E_{kin}$	0
$E_a$	$-E_{pot}$	$E_{pot}$	0	$-E_{pot}$	$E_a$	0
$T$	0	$T$	$T$	$-T$	$T$	0
$V$	$V$	$-V$	0	$V$	$V$	0
$p$	0	$p$	$p$	$-p$	$p$	0
$S$	$S$	$-S$	0	$S$	$S$	0
$W$	0	$-pV$	$-pV$	$pV$	$-pV$	0
$Q$	$TS$	0	$TS$	0	$2TS$	0
$U$	$Q$	$W$	0	$-W$	$U$	0

Tabelle 1. Thermische Zustandsgrößen des Alls am Ende des alten und bei Beginn des neuen Universums

In der Punktsingularität befindet sich am Ende des Universums noch keine äußere mechanische Energie, jedoch die Hälfte der Wärmeenergie, weil diese nicht übertragen werden kann und sich daher auf beide Singularitäten gleichverteilt, ebenso wie die seit der letzten Ausdehnung verrichtete Arbeit. Netto ist in der Punktsingularität dennoch keine Masse mehr vorhanden, und die innere Energie ist daher null. Mit den Energiebeiträgen aus den Aufgaben [138], [139], [140] und [141] ergibt sich die Gesamtenergie des Universums als Summe aus äußerer und innerer Energie gemäß der Einsteinschen Energie-Masse-Beziehung kurz vor und nach dem Kollaps zu

<sup>1</sup> Eine Randsingularität der Masse  $M$  startet definitionsgemäß als Punktsingularität der Masse null und liegt vor, wenn das All seine maximale Ausdehnung erreicht hat. Umgekehrt startet die Punktsingularität als Randsingularität.

## Physikaufgabe 142

$$E = E_{pot} + E_{kin} + U = -\frac{1}{2}Mc^2 + Mc^2 + \frac{1}{2}Mc^2 = Mc^2$$

bzw.

$$E = E_{pot} + E_{kin} + U = 0 + 0 + Mc^2 = Mc^2,$$

wie in Tab. 2 und 3 dargestellt.

$X$	Rand	$\Delta X$	Punkt	$\Delta X$	$\Sigma X$	$\Sigma \Delta X$
$M$	$M$	$-M$	0	$M$	$M$	0
$E_{pot}$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	$\frac{1}{2}Mc^2$	0	$-\frac{1}{2}Mc^2$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	0
$E_{rot}$	$\frac{1}{3}Mc^2$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	0	$\frac{1}{2}Mc^2$	$\frac{1}{2}Mc^2$	0
$E_{trans}$	$\frac{2}{3}Mc^2$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	0	$\frac{1}{2}Mc^2$	$\frac{1}{2}Mc^2$	0
$W$	0	$-\frac{1}{2}Mc^2$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	$\frac{1}{2}Mc^2$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	0
$Q$	$\frac{1}{2}Mc^2$	0	$\frac{1}{2}Mc^2$	0	$Mc^2$	0
$U$	$\frac{1}{2}Mc^2$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	0	$\frac{1}{2}Mc^2$	$\frac{1}{2}Mc^2$	0
$E$	$Mc^2$	$-Mc^2$	0	$Mc^2$	$Mc^2$	0

Tabelle 2. Die Energieverhältnisse des Alls am Ende des alten Universums

$X$	Punkt	$\Delta X$	Rand	$\Delta X$	$\Sigma X$	$\Sigma \Delta X$
$M$	$M$	$-M$	0	$M$	$M$	0
$E_{pot}$	0	0	0	0	$-\frac{1}{2}Mc^2$	0
$E_{rot}$	0	0	0	0	$\frac{1}{2}Mc^2$	0
$E_{trans}$	0	0	0	0	$\frac{1}{2}Mc^2$	0
$W$	$\frac{1}{2}Mc^2$	$-Mc^2$	$-\frac{1}{2}Mc^2$	$Mc^2$	0	0
$Q$	$\frac{1}{2}Mc^2$	0	$\frac{1}{2}Mc^2$	0	$Mc^2$	0
$U$	$Mc^2$	$-Mc^2$	0	$Mc^2$	$\frac{1}{2}Mc^2$	0
$E$	$Mc^2$	$-Mc^2$	0	$Mc^2$	$Mc^2$	0

Tabelle 3. Die Energieverhältnisse des Alls zu Beginn eines neuen Universums

## Physikaufgabe 142

---

Die kinetische Energie unmittelbar vor dem Urknall ist doppelt so groß wie die negative potentielle Energie, die andere Hälfte ist innere Energie. Die Wärmeenergie des Alls bleibt also erhalten. Am Ende ihres Daseins hat die Randsingularität keine Temperatur mehr, wohl aber Wärmeenergie. Da der Druck ebenfalls auf Null abgefallen ist, kann dieses System auch keine Arbeit mehr verrichten. Mithin besteht seine gesamte innere Energie aus Wärme.

Wenn das All als Punktsingularität neu beginnt, enthält es seine gesamte Masse, während sich auf dem Rand noch keine Masse befindet. Ansonsten wurde durch den Kollaps Arbeit verrichtet, die sich nun zusätzlich zur Wärmeenergie in der inneren Energie wiederfindet. Auf dem Rand wiederum fehlt diese Arbeit, daher ist die gesamte innere Energie dort null.

Das All führt also keinen Wärmetransfer von der Rand- in die Punktsingularität durch, sondern überträgt lediglich seine innere Energie, die damit auf dem Rand zum Verschwinden gebracht wird. Das ist möglich, weil massereiche Singularitäten keineswegs kalt sind, obwohl sie keine Wärme mehr abgeben und ihre Entropie maximal geworden ist. Umgekehrt sind masselose Singularitäten zwar sehr heiß, obwohl sie keine Entropie und keine innere Energie besitzen, aber sie erzeugen dieselbe Wärme, weil die Wärme nicht von der Masse abhängt, sondern nur von der Oberflächendichte, und diese ist nach unseren Annahmen konstant.