# Die Unverzichtbarkeit einer “dunklen Energie”, einer vierten Raumdimension und die Existenz einer partiellen Zeitumkehr bei jeweils alltäglichen Naturvorgängen in der Allgemeinen Relativitätstheorie

von Andreas Trupp

**Abstract**: Es wird gezeigt, dass die bisherigen, einhundert Jahre alten Vorstellungen über die Energie des Gravitationsfeldes mit dem lokalen Energieerhaltungssatz kollidieren. Eine Analyse der Schwarzschild-Metrik, die schon auf andere Weise, jedoch mit ähnlichem Ergebnis von E. Schrödinger vorgenommen wurde, ergibt erneut, dass das Gravitationsfeld keine Energie besitzt. Dieser Befund wurde 1973 von Misner, Thorne und Wheeler stillschwigend bestätigt. Besitzt es keine Energie, so stellt es kein Kraftfeld dar. Ist es kein Kraftfeld, so muss es auch im starren Bezugssystem eines entfernten Beobachters vollständig wegtransformierbar sein. Dies gelingt, was dem frühen Einstein nicht bewusst war, durch die im Jahre 1952 von ihm selbst eingeführte Vorstellung fließender Räume. Diese Vorstellung führt zu empirischen Konsequenzen. Ferner tritt an die Stelle der Energie eines Gravitationsfeldes eine unerschöpfliche “dunkle Energie”, die bei jedem freien Fall eines Körpers (einschließlich Newtons Apfel) in den Körper fließt, aber ihren Sitz wegen des Umstandes, dass keine gravitativen Feldlinien in ihr enden oder beginnen, ganz überwiegend nicht im dreidimensionalen Raum haben kann. Auf diese Weise wird E. Schrödingers Vision einer neuen Begründung der Fundamente des Energieerhaltungssatzes (als Folge der Fehlens einer Energie des Gravitationsfeldes) Realität. Das Aufsteigen eines hochgeworfenen Körpers im Schwerefeld kann auf dieser Grundlage nur durch das radiale Wegfließen von Raumvolumen und dies wiederum nur durch eine partielle Zeitumkehr erklärt werden.

## 1) Die Suche nach der Energiedichte des Gravitationsfeldes

**a)** Die Einsteinsche Grundgleichung der Allgemeinen Relativitätstheorie (vgl. deren Formulierung in A. Einstein, “The Meaning of Relativity”, Princeton University Press, 5. Auflage 1956, darin: The General Theory, S. 84, Gleichung 96), nämlich
(1)

$$G^{\mu\nu} = R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}g^{\mu\nu}R = 8\pi G\ T^{\mu\nu}$$

setzt die kovariante Divergenzlosigkeit des gewöhnlichen, nämlich nur die Energie und den Impuls der gewöhnlichen Materie **M** beinhaltenden Energie-Impulstensors **T** voraus.

Beweis: Die kovariante Divergenz des Ausdrucks im mittleren Teil der Gleichung ist, was hier allerdings nicht bewiesen werden soll, mit mathematischer Notwendigkeit null; folglich muss auch die kovariante Divergenz des Ausdrucks auf der rechten Seite der Gleichung null sein.

Mathematisch ausgedrückt muss daher gelten (als Ausdruck des von der Feldgleichung geforderten Verschwindens der kovarianten Divergenz des Energie-Impulstensors **T**, siehe A. Einstein, Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie, Annalen der Physik, Band 354 – 1916 – , S. 769ff, § 18, Gl. 57 und 57a):

(2)

$$0 = \frac{\delta T_\sigma^\alpha}{\delta x_\alpha} + \Gamma_{\sigma\beta} T_\beta^\alpha = \frac{\delta T_\sigma^\alpha}{\delta x_\alpha} + \frac{1}{2} \frac{\delta g^{\mu\nu}}{\delta x_\sigma} T_{\mu\nu}$$

Der Inhalt von (2) wird anschaulich, wenn wann einen Probekörper betrachtet, der unter Einwirkung der Gravitation aus Sicht eines entfernten Beobachters "Fahrt aufnimmt". **T** ist dann so beschaffen, dass (2) nichts anderes als ein Ausdruck einer geodätischen Linie wird, die vom Probekörper verfolgt wird (W. Pauli, Relativitätstheorie, 1920, Abschnitt 61, Gl. 447, S. 740 Abschnitt 54 aE, S. 720). Kinetische Energie wird somit – allerdings nur scheinbar (siehe gleich unten) – aus der Energie des Gravitationsfeldes gewonnen, und das Energieerhaltungsprinzip ist durch die scheinbare Berücksichtigung der Energie des Gravitationsfeldes gewahrt (siehe A. Einstein, aaO, im Anschluss an Gl. 57: "*Physikalisch zeigt das Auftreten des zweiten Gliedes der linken Seite, dass für die Materie allein Erhaltungssätze des Impulses und der Energie im eigentlichen Sinne nicht, bzw nur dann gelten, wenn die g konstant sind, d.h. wenn die Feldstärken der Gravitation verschwinden. Dies zweite Glied ist ein Ausdruck für Impuls bzw Energie, welche pro Volumen und Zeiteinheit vom Gravitationsfelde auf die Materie übertragen werden.* "; siehe auch A. Einstein, "The Meaning of Relativity", Princeton University Press, 5. Auflage 1956, darin: The General Theory, S. 83: *"Es ist daran zu erinnern, dass neben der Energiedichte der Materie auch noch eine Energiedichte des Gravitationsfeldes vorhanden sein muss, so dass keine Rede von den Prinzipien der Erhaltung von Energie und Impuls bloß der Materie sein kann.*").

Aus (2) lässt sich ableiten (siehe auch A. Einstein, Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie, Annalen der Physik, Band 354 – 1916 – , S. 769ff, § 17, Gl. 56; derselbe, "*Der Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie*", Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1918, Band 1, S. S. 448-459):
(3)

$$0 = \frac{\delta(T_\mu^\sigma + t_\mu^\sigma)}{\delta x_\sigma}$$

Die Größe **t** ist ein komplizierter Ausdruck, der von der räumlich-zeitlichen Änderung des metrischen Tensors **g** abhängt und nach Einsteins Ansicht die Dichte der "Impulsenergie" des des Gravitationsfeldes repräsentiert. Das auf (3) basierende Integral
(4)

$$\int_V (T_i^4 + t_i^4) dx^1 dx^2 dx^3 = const$$

besitzt in jedem Bezugssystem (unter bestimmten Voraussetzungen) denselben Wert (siehe W. Pauli, Relativitätstheorie, 1920, Abschnitt 61, Gl. 447, S. 740; A. Einstein, "*Der*

*Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie*", Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1918, Band 1, S. S. 448-459, Gl. 25). Das bedeutet: Die Summe der "Impulsenergie" aller Körper und Gravitationsfelder ist nicht nur konstant, sondern besitzt auch in jedem Bezugssystem denselben Wert. Die "Impulsenergie" eines Körpers besitzt in der Speziellen Relativitätstheorie in jedem Bezugssystem denselben Betrag und ist deshalb zwangsläufig gleich der Masse des Körpers in dessen eigenem Ruhesystem. In der Allgemeinen Relativitätstheorie tritt die Summe der "Impulsenergie" von Körpern und Gravitationsfeldern scheinbar an die Stelle der Impulsenergie bloß der Körper.

Erstaunlicherweise kann die "Impulsenergiedichte" **t** des Gravitationsfeldes und damit auch dessen Energiedichte durch Wahl eines passenden Koordinatensystems lokal zum völligen Verschwinden gebracht werden [siehe dazu auch W. Pauli, Relativitätstheorie, 1920, Abschnitt 61 , S. 740: "*Da diese Größen von höheren Ableitungen der $g_{ik}$ als den ersten nicht abhängen, kann man sofort schließen, dass sie durch geeignete Koordinatenwahl (geodätisches Bezugssystem) in einem beliebig vorgegebenem Weltpunkt zum Verschwinden gebracht werden können.*"]. Mehr noch: Ein- und derselbe Beobachter kommt zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen für die Dichte der durch **t** repräsentierten "Impulsenergiedichte" des Gravitationsfeldes, je nachdem, welches Koordinatensystem er benutzt (siehe H. Bauer, "Über die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes", Physikalische Zeitschrift, Band 19 – 1918 – , S.163-165: "*Abschließend können wir also feststellen, dass die 'Energiekomponenten' t nicht mit dem Vorhandensein eines Gravitationsfeldes in Zusammenhang stehen, sondern nur von der Koordinatenwahl abhängen ...*"). Einstein und Pauli haben daraus die folgende Konsequenz gezogen (W. Pauli, aaO, Abschnitt 61):

"*Man muss hiernach zwar den Werten von t selbst jede physikalische Bedeutung absprechen, d.h. es gelingt nicht, die Lokalisation von Energie und Impuls im Gravitationsfeld in allgemein kovarianter und physikalisch und physikalisch befriedigender Weise durchzuführen.*"

Ein bestimmter orts- und zeitabhängiger Wert und damit ein bestimmtes Vorzeichen (positiv oder negativ) kann der Energiedichte des Gravitationsfeldes somit nicht gegeben werden.

Dies steht durchaus im Gegensatz zu der sowohl früher als auch heute noch zu findenden Behauptung, die Energiedichte des Gravitationsfeldes verhalte sich proportional zum negativen Quadrat der Stärke des Gravitationsfeldes. Dies wird und wurde wie folgt begründet: Weil die Allgemeine Relativitätstheorie im Falle z.B. des Sonnensystems mit der Newtonschen Physik annähernd übereinzustimmen habe und diese Newtonsche Physik (in fraglicher Weise) so verstanden wurde, dass sie die negative potentielle Energie mit der Energie des Gravitationsfeldes gleichsetze, müsse die Energiedichte des Gravitationsfeldes auch im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie negativ und in weiter Entfernung vom System der gravitierenden Körper null sein. So heißt es bei *W. Pauli* (Relativitätstheorie, Sonderabdruck aus der Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Berlin 1921, Abschnitt 61, S. 741):

"*Das Vorzeichen der Energiedichte des Gravitationsfeldes hatte ja schon bei den älteren Feldtheorien der Gravitation immer Schwierigkeiten gemacht. Trotz dieser Schwierigkeiten* *ist aus physikalischen Gründen die Forderung nach einem Analogon zu den Energie- und Schwerpunktsintegralen der Newtonschen Theorie kaum abzuweisen*."

Eben dies führte dazu, dass insbesondere nach *T. Levi-Civita* die positive Energie der Materie und die als negativ postulierte Energie des Gravitationsfeldes in einem abgeschlossenen System immer null sein sollten.

Dem trat *Einstein* jedoch mit Entschiedenheit entgegen [siehe seinen Beitrag: "Über Gravitationswellen", Sitzungsberichte der königlich preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1918, Halbband 1, S. 154-167 (167)], da es ja dann durchaus möglich sei, dass "*ein materielles System sich vollständig in das Nichts auflöse, ohne eine Spur zu hinterlassen*."

Zudem bleibt es dabei, dass die Größe **t** nun einmal räumlich und zeitlich, d.h., an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit, unbestimmt ist. Dann kann die Energiedichte des Gravitationsfeldes, die im Ruhesystem der postulierten Feldenergie ja nichts anderes **t** sein soll, nicht gleich dem negativen Quadrat der lokalen Feldstärke sein.

Trotz der Unmöglichkeit, der Dichte der Energie und des Impulses des Gravitationsfeldes einen bestimmten Wert an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit zu geben, soll (3) nach Einstein und Pauli dennoch Sinn besitzen, indem diese Gleichung es gestatte, "*die Änderung der materiellen Energie eines abgeschlossenen Systems in einfacher Weise zu berechnen*". Für Einstein und Pauli ist das Energieerhaltungsprinzip in der Allgemeinen Relativitätstheorie somit durch die Gleichungen (3) und (4) gewahrt. Einstein formulierte folgendes Fazit (A. Einstein, "Der Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie", aaO, S. 452):

"*So kommen wir entgegen unseren heutigen Denkgewohnheiten dazu, einem Integral mehr Realitätswert zuzumessen als seinen Differentialen*."

**b)** Dies kann allerdings nur insoweit überzeugend sein, wie das Energieerhaltungsprinzip (und auch das Impulserhaltungsprinzip) nicht als lokales Prinzip aufgefasst wird. Versteht man das Energieprinzip hingegen durchaus als *lokales* Prinzip, das behauptet, Energie könne an einem Ort niemals unvermittelt auftauchen oder verschwinden, sondern nur zu- oder abfließen, so reichen die beiden genannten Gleichungen nicht aus, um – bei gleichzeitiger Annahme, das Gravitationsfeld besitze eine von null verschiedene, aber in keinem Bezugssystem lokalisierbare Energiedichte – die Wahrung des Energieerhaltungssatzes in der Allgemeinen Relativitätstheorie sicherzustellen.

Besonders deutlich tritt die Unzulänglichkeit in Einsteins Beitrag "Notiz zu E. Schrödingers Arbeit 'Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes' " (Physikalische Zeitschrift, Band 19 – 1918 – , S. 115/116) in Erscheinung:

"*Es kann sehr wohl Gravitationsfelder ohne Spannungen und ohne Energiedichte geben*."

Nimmt ein Probekörper in einem Gravitationsfeld "Fahrt auf", so muss – ähnlich wie dies vom Poyntingvektor im Fall einer durch ein elektrisches Feld "in Fahrt gesetzten" elektrischen Ladung angezeigt wird – Energie aus der Umgebung in den Probekörper einfließen. Befindet sich in der Umgebung des Probekörpers allein das Gravitationsfeld und kein anderes (!) Energiereservoir, so muss Energie aus dem Gravitationsfeld in den Probekörper fließen. Dann aber darf das Gravitationsfeld nicht ohne Energiedichte sein.

**c)** Anders herum formuliert: Besitzt das Gravitationsfeld keine Energie, so kann es kein Kraftfeld sein. Ansonsten wäre der lokale Energieerhaltungssatz verletzt.

## 2) Das Fehlen einer schweren Masse (und damit einer Energiedichte) des Gravitationsfeldes

**a)** Besäße das Gravitationsfeld eine Energie, so müsste es auch eine schwere Masse besitzen [siehe A. Einstein, Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie, aaO, § 16: "*Betrachtet man nämlich ein vollständiges System (z.B. das Sonnensystem), so wird die Gesamtmasse des Systems, also auch seine gesamte gravitierende Wirkung, von der Gesamtenergie des Systems, also von der ponderablen und Gravitationsenergie zusammen abhängen.*"].

Es kann jedoch bewiesen werden, dass dem Gravitationsfeld gar keine schwere Masse – und damit auch keine Energie – zukommt.

Zum einen ergibt sich die Energielosigkeit des Gravitationsfeldes bereits aus logischen Überlegungen, indem nämlich die Vorstellung einer Energie des Gravitationsfeldes zu Widersprüchen führt:

– Ist, was keinen Zweifeln unterliegt, die Gravitations"kraft" sehr wohl räumlich und zeitlich bestimmt und nimmt man (für eine kurze Weile) an, die Energie des Gravitationsfeldes sei eine Ursache dieser wohlbestimmten "Kraft", dann muss auch die Energie des Gravitationsfeldes räumlich bestimmt sein. Ihre Dichte muss mindestens so groß sein, dass daraus die Zunahme der kinetischen Energie eines fallenden Probekörpers gespeist wird.

– Setzt man voraus, dass t die Energiedichte des Gravitationsfeldes verkörpert, so ist die Energiedichte des Gravitationsfeldes lokal völlig unbestimmt.

Aber die Energie des Gravitationsfeldes kann räumlich nicht gleichzeitig bestimmt und unbestimmt sein. Sie muss

**b)** Zum anderen ergibt sich die Energielosigkeit des Gravitationsfeldes aus der Schwarzschild-Gleichung (als einer Lösung der Feldgleichung für den Fall einer nicht-rotierenden, kugelförmigen Masse). Danach ist die Stärke der Gravitations"kraft" umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands **r** (=Kreisumfang geteilt durch 2 pi) vom zentralen Körper und direkt proportional zur gewöhnlichen Masse **M** des Körpers, ganz so wie nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz.

Beweis: Wenn man in der Gleichung der **r**-Geodäte, nämlich in
(5)

$$\frac{d^2R}{d\tau^2} + \Gamma^1_{\mu\nu}\frac{dx^\mu}{d\tau}\frac{dx^\nu}{d\tau} = \frac{d^2r}{d\tau^2} + \Gamma^r_{\mu\nu}\frac{dx^\mu}{d\tau}\frac{dx^\nu}{d\tau} = 0$$

**d²x¹/dtau²** durch **d²r/dtau²** ersetzt und wenn das Christoffel-Symbol, nämlich
(6)

$$\Gamma^p_{\mu\nu} = \frac{g^{pn}}{2}\left(\frac{\delta g_{n\mu}}{\delta x^\nu} + \frac{\delta g_{n\nu}}{\delta x^\mu} - \frac{\delta g_{\mu\nu}}{\delta x^n}\right)$$

auf der Basis der Schwarzschild-Metrik, d.h. des metrischen Tensors
(7)

$$g_{\mu\nu} = \begin{matrix} 1-\frac{2GM}{c^2r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -[c^2(1-\frac{2GM}{c^2r})]^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{r^2}{c^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin^2\theta \end{matrix}$$

in ausführlicher Form geschrieben wird, so erhält man:
(8)

$$\frac{d^2R}{d\tau^2}\frac{d\tau^2}{dt^2}\frac{1}{r(1-r_s/r)} = -\frac{c^2r_s}{2r^3} - \frac{r_s}{2(1-r_s/r)^2r^3}\frac{dr^2}{dt^2} - \frac{d\varphi^2}{dt^2}$$

**R** ist der radiale Abstand, der gemessen wird, indem man Meterstäbe hintereinander legt; **r** ist der durch **2 pi** geteilte Umfang eines Kreises, auf dem sich die betrachtete Stelle befindet.

Da gemäß der Schwarzschild-Metrik das Produkt **dtau²/dt²** mal **(1-r$_s$/r)$^{-1}$** gleich eins ist, wenn **tau** die Eigenzeit eines zumindest momentan stationären Beobachters im Schwerefeld ist, und da mit Bezug auf einen solchen stationären Beobachter sowohl **dr/dt** als auch **dphi/dt** null sind, gelangt man zu:
(9)

$$\frac{d^2R}{d\tau^2} = -\frac{c^2r_s}{2r^2} = -\frac{MG}{r^2}$$

oder
(10)

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{c^2r_s}{2r^2}(1 - \frac{r_s}{r})$$

Die letzte Gleichung ist identisch mit dem von Droste im Jahre 1917 ermittelten Ergebnis (J. Droste, “The field of a single center in Einstein’s theory of gravitation and the motion of a particle in that field”, Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Science, Vol 19 I, 1917, S. 197-215, hier S. 203). **M** ist die Masse des sphärischen Körpers, **G** ist Newtons Konstante.

Für einen zumindest momentan stationären Beobachter im Schwerefeld ist die Schwerebeschleunigung **d²R/dtau²** , d.h. die Gravitations”kraft” pro Einheitsmasse eines Probekörpers, nach der vorletzten Gleichung direkt proportional zur Masse **M** des gravitierenden Körpers (und im Übrigen nicht von der sich nach der Newtonschen Mechanik ergebenden Schwerebeschleunigung verschieden). Denn verdoppelt man die gewöhnliche Dichte und damit die gewöhnliche Masse des gravitierenden Körpers, so verdoppelt man auch die Gravitations”kraft”.

Würde in der Schwarzschild-Gleichung in versteckter Weise auch die schwere Masse der Energie des Gravitationsfelds in Erscheinung treten und die Stärke der Gravitations”kraft” mitbeeinflussen, so könnte, wenn man die Dichte der Energie des Gravitationsfeldes als proportional zum positiven oder negativen Quadrat der Feldstärke ansähe, eine solche direkte Proportionalität zwischen der gewöhnlichen Masse **M** und der Schwer”kraft” wegen des quadratischen Zusammenhangs von Feldstärke und der schweren Masse, die der Energie des Schwerefeldes zukäme, nicht existieren.

Darüber hinaus beweist (9), dass die lokale, nämlich von einem im Feld befindlichen, stationären Beobachter festgestellte Gravitations”kraft” dieselbe Funktion von **r** ist, wie dies nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz der Fall ist. Damit ist auch die Dichte der gravitativen Feldlinien (außerhalb des zentralen Körpers) dieselbe Funktion von **r** und damit derselbe Ausdruck der lokalen Gravitations”kraft”, wie dies nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz der Fall ist. Folglich sind die gravitativen Feldlinien divergenzlos (außerhalb des zentralen Körpers) gemäß (9). Auch dies zeigt, dass dem im leeren Raum existenten Gravitationsfeld jedenfalls dort keine schwere Masse zukommt. Mehr noch: Neben der gewöhnlichen gravitierenden Masse existiert überhaupt keine zusätzliche Masse (=Energie) eines Gravitationsfeldes, weder außerhalb noch innerhalb des zentralen Körpers.

Man beachte: Das Fehlen jeglicher Masse des Gravitationsfeldes tritt hier trotz des Umstandes auf, dass die Komponenten des in (7) dargestellten metrischen Tensors **g** keineswegs nur gleich null oder eins sind.

Daraus ergibt sich (zusammengefasst): Nach der Schwarzschild-Gleichung und damit nach der Allgemeinen Relativitätstheorie existiert als schwere Masse nur die gewöhnliche Masse **M**, nicht hingegen die Masse eines Gravitationsfeldes. Dann aber kann nach dem von der

Speziellen Relativitätstheorie geforderten Prinzip der Gleichheit von Energie und Masse das Gravitationsfeld keine Energie besitzen.

Ein solcher Befund ist stillschweigend – wenn auch nicht ausdrücklich – von C.W. Misner, K.S. Thorne und J.A. Wheeler in ihrem Standardlehrbuch über Gravitation Gravitation, 1973, Kapitel 20.4: Warum die Energie des Gravitationsfeldes nicht lokalisiert werden kann, S. 467) anerkannt worden:

"*Keine dieser Eigenschaften kommt dem 'lokalen gravitativen Energie-Impuls' zu. Es gibt dafür keine einheitliche Formel, sondern nur eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Formeln. Die zwei genannten sind nur zwei einer unendlichen Zahl. Darüber hinaus besitzt der 'lokale gravitative Energie-Impuls' kein Gewicht. Er krümmt nicht den Raum. Er fungiert nicht als Quelle auf der rechten Seite von Einsteins Feldgleichungen.*"

Indem der lokale gravitative Energie-Impuls kein Gewicht besitzt, Masse und energie aber äquivalent sind, besitzt das Gravitationsfeld zwangsläufig keine Energie.

**c)** Dieses Ergebnis ist bereits von E. Schrödinger vorweggenommen worden (E. Schrödinger, "Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes", Physikalische Zeitschrift, Band 19 – 1918 –, S. 4-7). Schrödinger führte (3) und die Schwarzschild-Lösung zusammen. Dabei ergab sich folgendes Resultat (aaO, S. 6/7):

"*Wie oben vorausgreifend bemerkt, folgt daraus, ... dass die t für das gewählte Bezugssystem überall (außerhalb der gravitierenden Kugel) identisch in allen anderen Koordinaten verschwinden. 3. Dieses Ergebnis scheint mir unter allen Umständen von ziemlicher Bedeutung für unsere Auffassung von der physikalischen Natur des Gravitationsfeldes. Denn entweder müssen wir darauf verzichten, in den durch die Gleichungen (2) definierten t die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes zu erblicken; damit würde aber zunächst auch die Bedeutung der 'Erhaltungssätze' (s.A. Einstein I.c) fallen und die Aufgabe erwachsen, diesen integrierenden Bestandteil der Fundamente neuerdings sicher zu stellen. – Halten wir jedoch an den Ausdrücken (2) fest, dann lehrt unsere Rechnung, dass es wirkliche Gravitationsfelder (d.i. Felder, die sich nicht 'wegtransformieren' lassen) gibt, mit durchaus verschwindenden oder richtig gesagt 'wegtransformierbaren' Energiekomponenten; ... .*"

Letztere Alternative muss jedoch verworfen werden: Gäbe es echte, d.h., nicht wegtransformierbare Gravitationsfelder, so besäßen diese Felder als echte Kraftfelder Energie (und müssten wegen der Äquivalenz von Energie und Masse die Quelle von Gravitationsfeldlinien sein).

Die Lösung kann nur sein: Alle Gravitationsfelder sind ausnahmslos wegtransformierbar und besitzen – als Konsequenz daraus – keine Energie. Die Größe **t** steht somit *nicht* für die Energiekomponenten eines Gravitationsfeldes.

## 3) Das vollständige Fehlen einer echten Gravitationskraft und die Unvermeidbarkeit der Vorstellung bewegter Räume in der Allgemeinen Relativitätstheorie

**a)** Gemäß der von Schwarzschild (und wenig später von Droste) für kugelförmige Massen und ihre Umgebung gefundenen Lösung der Einsteinschen Grundgleichung der Allgemeinen Relativitätstheorie, nämlich (**tau** ist die Eigenzeit eines im "Schwerefeld" befindlichen Beobachters, **t** ist die Zeit eines in großer Entfernung von der gravitierenden Masse ruhenden Beobachters, **G** ist die Newtonsche Gravitationskonstante, **c** ist die Lichtgeschwindigkeit, **r** ist der "Abstand" eines Beobachters vom Zentrum der kugdelförmigen, gravitierenden Masse, wobei dieser Abstand **r** als Kreisumfang geteilt durch 2 **pi** definiert wird; **theta** und **phi** sind Winkel im System der verwendeten Polarkoordinaten)
(11)

$$d\tau^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu = \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) dt^2 - \frac{1}{c^2\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)} dr^2 - \frac{r^2}{c^2}(d\theta^2 + \sin^2\theta \; d\varphi^2)$$

existiert gar keine Gravitationskraft; vielmehr tauchen in der Umgebung der kugelförmigen Masse ständig neue Raumvolumina aus dem Nichts auf, so dass der Raum ständig in Richtung der Oberfläche der kugelförmigen Masse fließt, um im Innern zu verschwinden. Hierbei nimmt die Fließgeschwindigkeit des Raums mit Annäherung an die Oberfläche stetig zu. Die im Raum befindlichen Körper nehmen an dieser beschleunigten Fließbewegung des Raumes teil.

**a)** Die Berechtigung dieser Vorstellung folgt bereits aus dem Umstand, dass nur so sämtliche Gravitationsfelder wegtransformiert werden können (ohne die Einführung fließender Räume könnten, was allgemein unbestritten ist, kugelsymmetrische Gravitationskräfte nur lokal, aber nicht im gesamten Raum wegtransformiert werden). Dies wiederum ist unerlässlich, um ihre Energielosigkeit zu erklären.

Zum anderen ergibt sich die Berechtigung aus dem Umstand, dass die oben ausgeführte Grundgleichung der Allgemeinen Relativitätstheorie bekanntlich folgende Aussage macht (nach J.A. Wheeler): Die im Raum vorhandenen Massen sagen dem Raum, wie er sich krümmen soll, und die Krümmung des Raumes (also nicht etwa eine Gravitationskraft) sagt den Massen, wie sie sich zu bewegen haben. Die Krümmung des Raumes kann aber nur dadurch zu einer Bewegung von Massen führen, dass sich Raumvolumina im Bezugssystem eines Beobachters bewegen, d.h., fließen.

**b)** Besonders anschaulich wird dies dann, wenn die Schwarzschild-Metrik nach einer geringfügigen Modifikation (nämlich nach Ersetzung von **$2MG/c^2r$** durch **$H^2R^2/c^2$** ) auch auf ein expandierendes De-Sitter-Universum mit einer zeitlich und räumlich unveränderlichen Hubble-Konstanten **H** (=Fluchtgeschwindigkeit geteilt durch Entfernung) angewendet wird (man gelangt zu dieser Ersetzung, wenn man in der Grundgleichung der Allgemeinen Relativitätstheorie den Tensor **T** gleich null setzt, dafür aber die Einsteinsche Ergänzung, nämlich den die kosmologische Konstante **lambda** enthaltenen, auf der linken Seite der Feldgleichung positionierten Summanden nicht länger gleich null setzt, sondern für **lambda** einen positiven numerischen Wert festsetzt). Dann ergibt sich (**tau** ist die Eigenzeit eines vom ersten, nämlich auf der Erde befindlichen Beobachter entfernten zweiten Beobachters, **t** ist die Zeit des ersten Beobachters, **R** ist der Abstand eines Raumpunktes, an dem sich der

zweite Beobachter befindet, vom ersten Beobachter, ausgedrückt als Umfang eines Kreises um die Erde, geteilt durch 2 **pi**):
(12)

$$d\tau^2 = (1 - \frac{H^2R^2}{c^2})\ dt^2 - \frac{1}{c^2(1 - \frac{H^2R^2}{c^2})}\ dR^2 - \frac{R^2}{c^2}(d\theta^2 + \sin^2\theta\ d\varphi^2)$$

Alle vom ersten Beobachter entfernten Raumpunkte (an denen man sich z.B. Galaxien vorstellen kann) entfernen sich geradlinig in Richtung des kosmischen Ereignis-Horizontes. Hierbei wird auf die an diesen Punkten befindlichen Körper aus Sicht des ersten Beobachters keine Kraft ausgeübt. Vielmehr wird die beschleunigte Bewegung durch eine ständige Expansion des Raumes, d.h., durch das stetige Auftauchen von Raumvolumina zwischen den Galaxien, bewirkt [siehe dazu auch A. Einstein, Relativity – The Special and the General Theory, Bonanza Books 1961, Appendix IV, S. 134: *“Die ursprünglichen Feldgleichungen erlauben nämlich eine Lösung, in welcher der ‘Weltradius’ von der Zeit abhängt (sich ausdehnender Raum).*”].

Beim Gravitationsfeld der kugelförmigen Masse ist es ganz ähnlich. Allerdings strömen die auftauchenden Raumvolumina und die in ihnen mitgeführten, keiner Kraft ausgesetzten Körper mit wachsender Geschwindigkeit nicht zum Horizont, sondern zur Oberfläche der kugelförmigen Masse (oder, wenn die kugelförmige Masse ein Schwarzes Loch bildet, zum Schwarzschild-Horizont) (vgl. H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, Dover Publ. 1958, § 36, Fig. 41, S. 226), um im Innern der kugelförmigen Masse wieder im scheinbaren Nichts zu verschwinden. Man beachte: Nach der Schwarzschild-Gleichung verhalten sich räumlich stationäre, radial ausgerichtete Meterstäbe und räumlich stationäre Uhren im “Gravitationsfeld” so, wie sich Meterstäbe und Uhren nach der Speziellen Relativitätstheorie verhalten, wenn sie sich mit einer Geschwindigkeit, die der Fluchtgeschwindigkeit am betrachteten Ort des “Gravitationsfeldes” entspricht, geradlinig und gleichförmig bewegen. An die Stelle einer solchen geradlinig-gleichförmigen Bewegung von Stäben und Uhren tritt in der Allgemeinen Relativitätstheorie der Fluss des Raumes mit eben dieser radiusabhängigen Geschwindigkeit.

## 4) Empirische Konsequenzen fließender Räume

**a)** Auf diese Weise wird die Gravitationskraft im starren Bezugssystem des weit entfernten Beobachters vollständig und überall wegtransformiert. Das völlige Fehlen einer Gravitationskraft zeigt sich insbesondere dann, wenn elektrische Ladungen im Gravitationsfeld fallen: Es wird dabei keine elektromagnetische Strahlung erzeugt; vielmehr bleibt für einen mitfallenden Beobachter das elektrostatische Feld einer Punktladung kugelsymmetrisch (wäre dies nicht der Fall, so könnte der berühmte Beobachter in einer fallenden Fahrstuhlkabine entgegen dem Äquivalenzprinzip doch mit Hilfe einer einfachen Beobachtung, nämlich der Bestimmung der Form des elektrostatischen Feldes einer mitgeführten Ladung, herausfinden, ob er in einem “Schwerefeld” fällt oder sich weit entfernt von gravitierenden Massen befindet). Bleibt das elektrostatische Feld für einen mitfallenden

Beobachter kugelsymmetrisch, so wird weder im Ruhesystem des mitfallenden Beobachters noch – und das ist entscheidend – im Ruhesystem eines weit entfernten, relativ zur gravitierenden Masse unbewegten Beobachters elektromagnetische Strahlung erzeugt.

**b)** Ganz anders liegen die Dinge hingegen dann, wenn die elektrische Ladung bei Abwesenheit von Gravitation in einem *elektrischen* Feld "fällt" (d.h., durch das elektrische Feld beschleunigt wird). Dann entsteht sehr wohl elektromagnetische Strahlung, die von dem weit entfernten, relativ zur gravitierenden Masse unbewegten Beobachter registriert wird; und für einen mitbeschleunigten Beobachter ist das elektrostatische Feld der Ladung sehr wohl deformiert und nicht kugelsymmetrisch.

Eben dieser Unterschied rechtfertigt es, im Falle der Wahrung der Kugelsymmetrie des elektrostatischen Feldes davon zu sprechen, dass nicht nur die Ladung, sondern auch der sie umgebende Raum im starren Koordinatensystem des weit entfernten Beobachters in Bewegung ist.

**c)** Zur Möglichkeit der Bewegung von Räumen hat sich Einstein wenige Jahre vor seinem Tod wie folgt geäußert (A. Einstein, Relativity – The Special and the General Theory, Bonanza Books 1961, Appendix V – erst im Jahre 1952 von Einstein hinzugefügt –, S. 138, 139):

"*Wenn eine kleinere Schachtel **s** sich im Innern des Hohlraumes einer größeren Schachtel **S** in relativer Ruhe befindet, so ist der Hohlraum von **s** ein Teil des Hohlraumes von **S**, und zu beiden Schachteln gehört derselbe sie beide enthaltene 'Raum'. Weniger einfach aber ist die Auffassung, wenn **s** gegenüber **S** in Bewegung ist. Dann ist man geneigt zu denken, **s** umschließe stets denselben Raum, aber einen veränderlichen Teil des Raumes **S**. Man ist dann genötigt, jeder Schachtel ihren besonderen (nicht als begrenzt gedachten) Raum zuzuordnen und anzunehmen, dass diese beiden Räume gegeneinander bewegt seien.*

*Bevor man auf diese Komplikation aufmerksam geworden ist, erscheint der Raum als ein begrenztes Medium (Behälter), in dem die körperlichen Objekte herumschwimmen. Nun aber muss man denken, dass es unendlich viele Räume gibt, die gegeneinander bewegt sind. Der Begriff Raum als ein unabhängig von den Dingen objektiv Existierendes gehört schon dem vorwissenschaftlichen Denken an, nicht aber die Idee von der Existenz einer unendlichen Zahl von gegeneinander bewegten Räumen. Diese letztere Idee ist zwar logisch unvermeidlich, spielte aber im wissenschaftlichen Denken lange keine erhebliche Rolle.*"

## 5) Die Notwendigkeit einer "dunklen Energie" in der Allgemeinen Relativitätstheorie

**a)** Wenn die Summe aus kinetischer Energie und potentieller Energie eines Systems von gravitierenden Körpern zeitlich konstant sein soll, das Gravitationsfeld aber keine Energie besitzen kann, so folgt daraus, dass eine Vergrößerung der kinetischen Gesamtenergie des Systems mit einer entsprechenden Verringerung einer "dunklen" Energie und nicht etwa mit einer Verringerung der Energie eines Gravitationsfeldes einhergeht. Man beachte, dass die potentielle Energie eines Körpers ihren Sitz keineswegs im Körper selbst hat, diese Energie vielmehr dann, wenn das Potential realisiert wird, an anderen Stellen, sei es im Volumen eines Feldes oder auch ganz woanders, verschwindet.

Die Allgemeine Relativitätstheorie kommt somit für die Beschreibung von gewöhnlichen, alltäglich zu beobachtenden Naturvorgängen nicht ohne ein “dunkles Energiereservoir” aus. Der Sitz der “dunklen” Energie kann keinesfalls im dreidimensionalen Raum sein, denn dann würde sie zur Krümmung des Raumes und damit zur Erzeugung der Gravitations”kraft” beitragen. Vielmehr ist die Annahme einer vierten Raumdimension unverzichtbar. In Richtung dieser vierten Raumdimension ist das Reservoir der “dunklen Energie” zu verorten.

Auf diese Weise wird Schrödingers oben zitierte Vision eines neuen Fundaments des Energieerhaltungssatzes (welches nötig wird, sobald man die Energielosigkeit des Gravitationsfeldes anerkennt) Realität.

**b)** Um die Menge der vom “dunklen Energiereservoir” absorbierten bzw. freigesetzten Energiemenge zu quantifizieren, kann man immerhin so tun, als ob das Gravitationsfeld eine nicht verschwindende Energiedichte besäße und diese Energiedichte proportional zum negativen Quadrat der Schwerebeschleunigung im Raum wäre.

Dennoch sollte einem immer bewusst sein, dass bei der Helmholtz-Kontraktion einer gravitierenden Kugelschale (durch die jedenfalls bei Anwendung der Newtonschen Mechanik theoretisch eine gegen unendlich große mechanische Arbeit freigesetzt werden kann) nicht etwa der feldfreie Raum im Innern eine gegen unendlich gehende Energiedichte eines Gravitationsfeldes besitzt (wie jedoch gemeinhin angenommen wird, siehe *B. Greene*, Die verborgene Wirklichkeit – Paralleluniversen und die Gesetze des Kosmos, 2013, Anmerkung 9 zu Kapitel 3, S. 402: “*Die Gravitation ähnelt also einer Bank, die einen unendlich großen Kreditrahmen bietet und entsprechend nach Bedarf endlose Geldsummen verleiht; das Gravitationsfeld kann endlose Energiemengen liefern, weil seine eigene Energie immer stärker negativ werden kann. ...*” und auch *A. Vilenkin*, Kosmische Doppelgänger, Springer Verlag Heidelberg 2008, S. 10: “*Seit Langem ist bekannt, dass Gravitationsenergie gleichbleibend negativ ist. ... Die ansteigende positive Energie der Materie wird durch die zunehmend negative Energie der Gravitation ausgeglichen. Im Ergebnis bleibt die Gesamtenergie konstant, wie es der Energieerhaltungssatz fordert*.”); vielmehr besitzt der Raum dort eine Verbindung mit einem unerschöpflichen “dunklen” Energiereservoir. Allerdings ist bislang noch kein Verfahren bekannt, mit dem es gelingen könnte, dieses Energiereservoir im Nettoergebnis eines Kreisprozesses anzuzapfen und dadurch technisch nutzbare Energie zu erzeugen.

**c)** Die kosmologische Konstante **lambda**, die zu Recht allgemein als Ausdruck einer “dunklen Energie” angesehen wird, ist nichts anderes als derjenige (kleine) Teil der “dunklen Energie”, dessen Aufenthaltsort *nicht* in Richtung einer vierten Raumdimension liegt. Mit anderen Worten: Der Ortsvektor dieses Teils der “dunklen Energie” besitzt nur die drei vertrauten räumlichen Komponenten, während die vierte Komponente des Ortsvektors null ist.

**6) Der freie radiale Fall und der freie radiale Aufstieg aus Sicht der Allgemeinen**

**Relativitätstheorie; großer und kleiner "Zeitpfeil"**

**a)** Ein Probekörper, der mit der jeweiligen, von **r** abhängigen negativen Fluchtgeschwindigkeit im Schwerefeld einer gravitierenden Masse fällt, ist somit im starren Koordinatensystem eines entfernten Beobachters relativ zum strömenden Raum, der den Probekörper unmittelbar umgibt, unbewegt.

Ein frei fallender Testkörper, der mit einer Geschwindigkeit fällt, die geringer als die ortsabhängige Fluchtgeschwindigkeit ist, behält seine Geschwindigkeit relativ zu dem ihn umgebenden Raumelement.

Ein ruhender Testkörper, der sich auf der Oberfläche der gravitierenden, kugelförmigen Masse befindet, erfährt keine nach unten gerichtete Gravitationskraft, sondern nach oben gerichtete intermolekulare, abstoßende Kräfte, die von der Oberfläche ausgehen, auf der er sich befindet. Diese aufwärts gerichteten intermolekularen Kräfte (die durch die Trägheit des Probekörpers kompensiert werden) schaffen es allerdings nicht, den Probekörper relativ zur Oberfläche der gravitierenden, kugelförmigen Masse in Bewegung zu setzen. Immerhin schaffen sie es aber, den Testkörper relativ zu einem fließenden Volumenelement, das durch den Testkörper passiert, in eine beschleunigte Bewegung zu versetzen.

**b)** Was aber, wenn der sich selbst überlassene Probekörper mit der von **r** abhängigen Fluchtgeschwindigkeit im Schwerefeld der gravitierenden Masse radial *aufsteigt*? Dann kann die Gravitation im Bezugssystem des weit entfernten Beobachters nur dadurch wegtransformiert werden, dass man die Existenz von Raumvolumina annimmt, die nicht auf die gravitierende Masse *zufließen*, sondern sich radial von dieser *entfernen* (und dabei ihre Geschwindigkeit, die jeweils gleich der gewöhnlichen Fluchtgeschwindigkeit ist, mit wachsendem Abstand **r** verringern).

**c)** Wie aber kann der Raum einerseits auf die gravitierende Masse zuströmen und sich andererseits von dieser wegbewegen? Man erinnere sich daran, dass Einstein im Jahre 1952, siehe oben, auf eben diese Möglichkeit mehrerer und damit verschiedener Geschwindigkeiten des Raumes als "logisch unvermeidlich" hinwies, ohne allerdings konkrete Beispiele zu liefern. Nimmt man an, dass der Raum auch dann auf die gravitierende Masse zuströmt, wenn sich gerade kein Probekörper im Schwerefeld befindet, so kommt man nicht umhin, die aufsteigende Bewegung des Raumes als Ergebnis einer partiellen Zeitumkehr anzusehen. Nur so kann die Gravitationskraft "wegtransformiert" werden. Das "Wegtransformieren" der Gravitationskraft ist wiederum unentbehrlich, um das Gravitationsfeld seiner Energie "zu berauben" (die es ja gemäß der Schwarzschild-Metrik nicht besitzt).

Eine partielle Zeitumkehr, d.h., das Zusammentreffen eines "großen Zeitpfeils" mit einem viel kleineren, ist prinzipiell bereits bekannt. So kann die Existenz von Antimaterie und auch die "Löcherleitung" bei Halbleitern auf eben diese Weise beschrieben werden. Allerdings waren bislang lediglich Vorgänge auf der *mikroskopischen* Ebene bekannt, die als Auftreten eines "kleinen Zeitpfeils" gedeutet werden können. Diese Beschränkung ist jedoch, wie sich jetzt zeigt, unberechtigt. Damit ist die Vorstellung einer bestimmten, nämlich einheitlichen Zeitrichtung als etwas den makroskopischen Körpern von der Natur Vorgegebenes gründlich zerstört.

**d)** Da Gravitation keine Kraft ist und das Gravitationsfeld keine Energie besitzt (im Unterschied zum elektrischen oder magnetischen Feld), ist es schwer vorstellbar, dass, auf der Ebene der Quantenmechanik, Gravitation von Partikeln, d.h. von Gravitonen, bewirkt wird.

Darüber hinaus gilt: Angesichts des Umstandes, dass Gravitation und die Expansion des Raumes jeweils Erscheinungsformen ein- und desselben Phänomens sind, müssten Gravitonen, wenn sie tatsächlich existierten, eine entscheidende Rolle auch bei der Expansion des Raumes spielen. Umgekehrt gilt: Falls, wie allgemein angenommen, Gravitonen bei der Expansion des Raumes keine Rolle spielen, so spielen sie auch bei der gewöhnlichen Gravitation (einschließlich Newtons Apfel) keine Rolle.

17.03.2019

Andreas Trupp
andreas@andreastrupp.com