Die Lichtspirale

Der Weg eines Photons in einem Universum ohne Dunkle Energie

von Dr. Peter Steffen

Fassung vom 1. 1. 2020

Die vorangegangenen Überlegungen [4,5] zu einem Universum ohne Dunkle Energie [6, 7, 8] ergaben, dass es außer der kosmischen, expansionsbedingten Rotverschiebung auch noch einen gravitationsbedingten Anteil geben müsste, der sich erst durch die Abbremsung der universellen Expansion bemerkbar macht. Dies hätte zur Folge, dass die gesamte gemessene kosmische Rotverschiebung z_{mess} immer und unter allen Umständen das Hubble-Diagramm für das leere Weltall liefert. Diese Aussage erhält man, wenn man die Lichtgeschwindigkeit *c* des Vakuums in bestimmter Weise als zeitlich variabel zulässt. Aus dieser Hypothese lässt sich ein Bild entwickeln, das den raumzeitlichen Weg eines Photons im Universum als logarithmische Spirale darstellt. (Andere Ansätze für ein variables *c*: Siehe [1, 2, 3]).

Ich beginne mit Einsteins spezieller Relativitätstheorie (SRT).

Ein Prozess in einem mir gegenüber bewegten Bezugssystem verläuft stets langsamer als in meinem eigenen System, in dem ich ruhe. Für den Ablauf des Prozesses in meinem System gilt die ***Eigenzeit*** τ. Dieser Vorgang ist symmetrisch.

Eigenzeit : $\Delta\tau = (\Delta t_{beob}) \cdot \sqrt{(1 - v^2/c^2)}$ (1)

$\Delta\tau = \Delta t_{ruh}$

Die Eigenzeit τ ist unter allen Umständen diejenige Zeit, die in meinem Bezugssystem und jedem anderen vergeht, das mir gegenüber ruht. Wechsle ich in ein mir gegenüber bewegtes System, so "schleppe" ich meine Eigenzeit grundsätzlich immer und unter allen Umständen mit mir mit. In diesem Sinne ist die Zeit etwas absolut Individuelles.

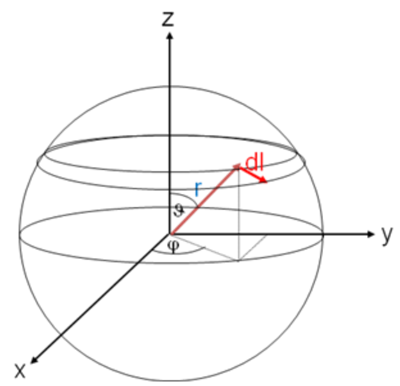
Wir schreiben nun obige Formel (1) differenziell:

$d\tau = dt \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad \leftrightarrow \quad d\tau^2 = dt^2 \cdot (1 - v^2/c^2)$

Definition $v^2 = dl^2/dt^2 \quad \rightarrow \quad d\tau^2 = dt^2 \cdot [1 - \frac{(dl/dt)^2}{c^2}]$, dl = Linienelement $\rightarrow$

$\boxed{ds^2 = c^2 \cdot d\tau^2 = c^2 \cdot dt^2 - dl^2}$, s = 3-dim. Eigenlänge (2)

Die nachfolgende Skizze dient der Veranschaulichung des Begriffs Linienelement :



Linienelement dl auf der Oberfläche (2-dimensional) einer Kugel:

$$dl^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$$

In kartesischen Koordinaten : $dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$

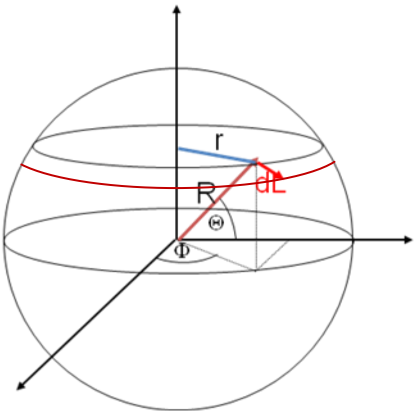
$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad \rightarrow \quad z^2 = r^2 - x^2 - y^2$

$$dl^2 = dx^2 + dy^2 + \frac{(xdx + ydy)^2}{r2 - x2 - y2}$$

In Kugelkoordinaten : $dl^2 = r^2 d\vartheta^2 + r^2 \sin^2(\vartheta) d\varphi^2$

dl legt den Abstand zwischen zwei Punkten auf der Oberfläche in einem dreidimensionalen Raum fest, die in diesen eingebettet ist.

Wir erweitern nun den Raum um eine vierte Dimension und erhalten damit ein Linienelement dL auf einer 3-dimensionalen (!) Oberfläche, eingebettet in einen 4-dimensionalen Raum mit euklidischer Metrik. Die folgende Skizze deutet die Verhältnisse für eine 3-dimensionale Kugeloberfläche im flachen vier-dimensionalen Raum an.



Linienelement dL auf der Oberfläche (3-dimensional) einer Hyperkugel in einem 4-dim.Raum:

$$dL^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$$

In kartesischen Koordinaten: $dL^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dw^2$

$$R^2 = x^2 + y^2 + z^2 + w^2 \quad \rightarrow \quad w^2 = R^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

$$dL^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + \frac{(xdx + ydy + zdz)^2}{R^2 - x^2 - y^2 - z^2}$$

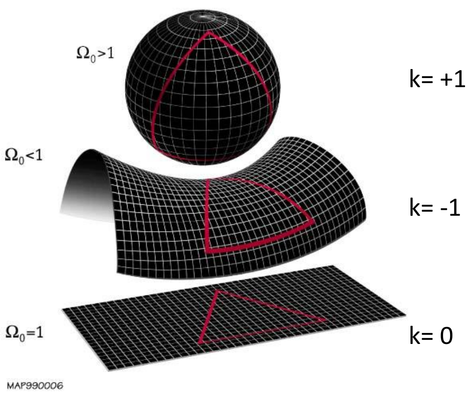
In Kugelkoordinaten : $dL^2 = \dfrac{R^2 \cdot (dr)^2}{R^2 - r^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2(\theta) d\Phi^2$

→

Metrik einer 3-dimensionalen Kugeloberfläche

$$\boxed{dL^2 = \frac{dr^2}{1 - r^2/R^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2(\theta) d\Phi^2} \qquad (3)$$

Bisher haben wir eine 3-dimensional (!) kugelförmig gekrümmte Oberfläche in einem vier-dimensionalen Raum mit euklidischer Geometrie betrachtet. Bezüglich der 3-dimensionalen Oberfläche gibt es aber auch noch andere Krümmungsmöglichkeiten, wie, – unter bestimmten Symmetriebedingungen –, die einer flachen und die einer hyperbolisch gekrümmten 3-dim. Oberfläche. Alle drei Möglichkeiten sind in der folgenden Abbildung 1 veranschaulicht.



Krümmung	Krümmungsparameter	Winkelsumme im Dreieck
positiv ,elliptisch	k = +1	> 180°
negativ, hyperbolisch	k = -1	< 180°
null , flach	k = 0	= 180°

Abbildung 1 Bildquelle: NASA/WMAP Science Team

Unter Berücksichtigung dieser drei möglichen Krümmungen des dreidimensionalen Raumes erhalten wir dann für das Linienelement dL den folgenden Ausdruck:

$$\boxed{dL^2 = \frac{dr^2}{1 - kr^2/R^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2(\theta) d\Phi^2} \qquad k = -1, 0, +1 \qquad (4)$$

Die Robertson-Walker-Metrik

Betrachten wir nun analog zu Formel (2) die Eigenlänge auf einer 3-dimensionalen (!) "Oberfläche" als Unterraum eines 4-dimensionalen Hyperraumes, so erhalten wir eine entsprechende Raumzeit-Metrik, die sogenannte Robertson-Walker-Metrik (R-W - Metrik).

$dS^2 = c^2dt^2 - dL^2$, S = 4-dim. Abstand zweier Punkte im R-W-Raum.

$$dS^2 = c^2dt^2 - \left(\frac{dr2}{1 - kr^2/R^2} + r^2d\theta^2 + r^2\sin^2(\theta)d\Phi^2\right). \qquad \text{Sei } r/R = \sigma \qquad \rightarrow$$

$$\boxed{dS^2 = c^2dt^2 - R^2 \cdot \left(\frac{d\sigma2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2d\theta^2 + \sigma^2\sin^2(\theta)d\Phi^2\right)} \qquad \text{R-W - Metrik} \qquad (5)$$

k = +1; 0; -1 $\leftrightarrow$ elliptische, flache, hyperbolische Geometrie

Die Lichtspirale

Wir betrachten nun den Weg eines Photons. Gemäß der SRT bzw. der R-W - Metrik gilt für ein Photon: dS = 0, das heißt, die Eigendistanz zwischen zwei Punkten ist in diesem Koordinatensystem gleich null. Daraus folgt aus Formel (5):

$$c^2dt^2 = R^2 \cdot \left(\frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2d\theta^2 + \sigma^2\sin^2(\theta)\cdot d\Phi^2\right)$$

Wir nehmen nun weiter an, dass nach dem kosmologischen Prinzip der 3-dimensionale Raum des Universums homogen und isotrop ist. Dann können wir aus Symmetriegründen $\theta = 0$ und $\Phi = 0$ setzen. Daraus folgt:

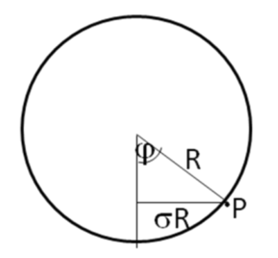
$$\boxed{c\cdot(dt)/R(t) = d\sigma/\sqrt{(1-k\sigma^2)}} \qquad (6)$$

Im Folgenden transformieren wir diese Differenzialgleichung nacheinander in unterschiedlicher Weise für die drei möglichen Krümmungsparameter k = +1, -1 und 0. Dabei zeigt sich, dass alle drei Werte für k zu einer einzigen Differenzialgleichung führen.

a) k = +1 $\qquad c\cdot(dt)/R(t) = d\sigma/\sqrt{(1-\sigma^2)}$

Transformation: $\sigma = \sin\varphi \quad \rightarrow$

$d\sigma = \cos\varphi\cdot d\varphi = \sqrt{(1-\sigma^2)}\cdot d\varphi$



φ = Laufwinkel für P

Daraus folgt: $\qquad c\cdot(dt)/R(t) = d\sigma/\sqrt{(1-\sigma^2)} = d\varphi \qquad \rightarrow$

$$\boxed{d\varphi/dt \overset{\text{Def.}}{=} \dot{\varphi} = c/R(t)} \qquad \text{geschlossenes Universum} \qquad (6a)$$

b) k = -1

$$c\cdot(dt)/R(t) = d\sigma/\sqrt{(1+\sigma^2)}$$

Transformation: $\sigma = \sinh\varphi$* $\rightarrow$

$$d\sigma = \cosh\varphi\cdot d\varphi = \sqrt{(1+\sigma^2)}\cdot d\varphi \quad \rightarrow$$

$$c\cdot(dt)/R(t) = d\varphi \quad \leftrightarrow$$

$$\boxed{d\varphi/dt = \dot{\varphi} = c/R(t)} \quad \text{offenes Universum} \qquad (6b)$$

c) k = 0

$$c\cdot(dt)/R(t) = d\sigma$$

Transformation: $\sigma = \varphi$ $\rightarrow$

$$\boxed{d\varphi/dt = \dot{\varphi} = c/R(t)} \quad \text{flaches Universum} \qquad (6c)$$

Wir sehen, die drei Transformationen führen alle zur selben Beziehung (6a) = (6b) = (6c). Das heißt: Formel (6) gilt für alle Modelle des dreidimensional räumlichen Universums.

Wir formen nun Gleichung (6) in der folgenden Weise um:

$$d\varphi/dt = c/R(t) \quad \rightarrow$$

$$d\varphi = c\cdot(dt/dR)\cdot(dR/R)$$

$$d\varphi = \underbrace{(c/\dot{R})}_{A(t)}\cdot(dR/R) \quad \rightarrow$$

$$\boxed{\mathbf{d\varphi = A(t)\cdot(dR/R)}} \qquad (7)$$

Diese Differenzialgleichung beschreibt die Kinematik eines Photons im dimensionsreduzierten expandierenden Universum, sofern wir R als eine mit der Zeit stetig wachsende Abstandsgröße R = R(t) betrachten. Allerdings ist Gleichung (7) ohne Kenntnis von A(t) nicht lösbar bis auf den Sonderfall $A(t) = c/\dot{R}$ = konstant. Dafür gibt es wiederum grundsätzlich 2 Möglichkeiten:

1) c = konst., $\dot{R}$ = konst.

2) $c \sim \dot{R} \neq$ konst

Möglichkeit 1) beschreibt ein gleichförmig expandierendes Universum. Das entspricht dem Milne-Modell, also einem absolut leeren Universum.

Möglichkeit 2) beschreibt ein Universum, in dem die Lichtgeschwindigkeit auf kosmischen Skalen veränderlich ist, und zwar gemäß der Proportionalität $c \sim \dot{R}$.
Unter der Annahme, dass A(t) für alle t konstant ist, ergibt die Integration der Gleichung (7) folgende Beziehung:

$$\boxed{R = R_o\cdot e^{A\cdot(\varphi - \varphi o)}} \qquad (8)$$

---

* sinh, cosh = sinus hyperbolicus, cosinus hyperbolicus, sind mathematische Hyperbelfunktionen.

Gleichung (8) beschreibt eine logarithmische Spirale:

$\varphi - \varphi_o = \Delta\varphi$, $A = (c/\dot{R}) = \text{konst.}$

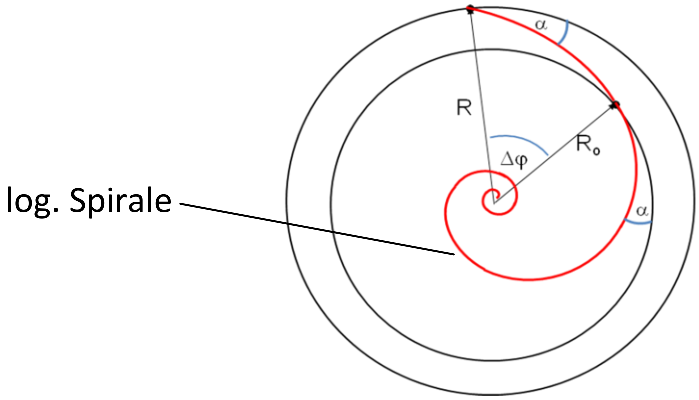


Abbildung 2

Eine log. Spirale ist dadurch charakterisiert, dass sie konzentrische Kreise mit dem Radius R(t) für alle t unter demselben Winkel α schneidet (siehe Abbildung 2). Wir bezeichnen diese Spirale als ***Lichtspirale***, weil sie den Weg des Lichts (eines Photons) in Polarkoordinaten eines dimensions-reduzierten, expandierenden Universums beschreibt. An dieser Stelle ergibt sich aber nun eine Schwierigkeit: Die Gleichungen (6) – (8) beruhen auf der Tatsache, dass für ein Photon die Eigendistanz dS = 0 ist. Das heißt, im Robertson-Walker-Raum ist die Bogenlänge der Lichtspirale gleich null! Dies ist aber in unserer Darstellung nicht der Fall. Das bedeutet, dass der beschriebene Weg eines Photons nicht real sein kann, sondern nur ein Abbild im zweidimensionalen euklidischen Raum mit Polarkoordinaten ist [10]. Gleiches gilt grundsätzlich für alle Modellvorstellungen: Wir erschaffen uns ein Abbild der vermeintlichen Wirklichkeit. So ergäbe sich zum Beispiel schon eine andere Bildkurve des Lichtweges, wenn wir ein anderes Koordinatensystem wählen würden. Mir erscheint jedoch die log. Spirale als 2-dimensionales Abbild zur Beschreibung einer expandierenden höherdimensionalen Figur von besonderer Bedeutung. Betrachten wir nämlich einen Kreis, der expandiert, so lässt sich dieser kinematische Vorgang rein geometrisch, ohne irgendeinen Bezug auf die Kosmologie, durch eine logarithmische Spirale beschreiben. Die folgenden Abbildungen 3a und 3b zeigen die Verhältnisse für jeweils zwei konzentrische Kreise unterschiedlicher Radien $\mathcal{R}_o$ und $\mathcal{R}$.

Expansion eines Kreises

$2\pi\cdot\Delta\mathcal{R} = \mathcal{R}\cdot\Delta\psi$

Wir schreiben nun obige Gleichung differenziell:

$2\pi\cdot d\mathcal{R} = \mathcal{R}\cdot d\psi \quad \leftrightarrow \quad d\psi = 2\pi\cdot d\mathcal{R}/\mathcal{R}$

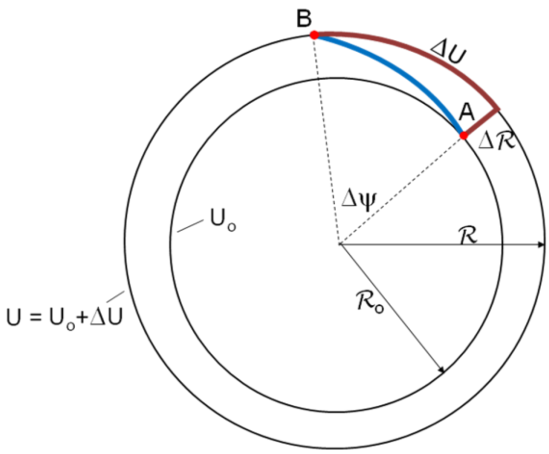


Abbildung 3a

Der blau markierte Weg beschreibt den Umfangszuwachs eines Vollkreises als: $\Delta U = 2\pi\cdot\Delta\mathcal{R}$ in Abhängigkeit von $\Delta\mathcal{R}$. Ist nun $\mathcal{R}$ eine Funktion der Zeit t, so beträgt die Geschwindigkeit, mit der sich der Radius des Kreises ändert: $d\mathcal{R}/dt = \dot{\mathcal{R}}$ und die Umfangsänderungsgeschwindigkeit: $\dot{U} = 2\pi\cdot\dot{\mathcal{R}}$. Betrachtet man also einen Punkt, der sich von der Position A mit der Umfangsänderungsgeschwindigkeit $2\pi\cdot\dot{\mathcal{R}}$ auf einem expandierenden Kreis in Richtung B bewegt, so beschreibt dieser Punkt ein, der Positionsänderung A → B entsprechendes Teilstück einer logarithmischen Spirale (Abb.3b). Nach der Zeit Δt erreicht der Punkt dann die Position B.

$$d\psi = 2\pi \cdot d\mathcal{R}/\mathcal{R}$$

Integration →

$$\boxed{\mathcal{R} = \mathcal{R}_o \cdot e^{2\pi \cdot (\psi - \psi_o)}} \qquad (9)$$

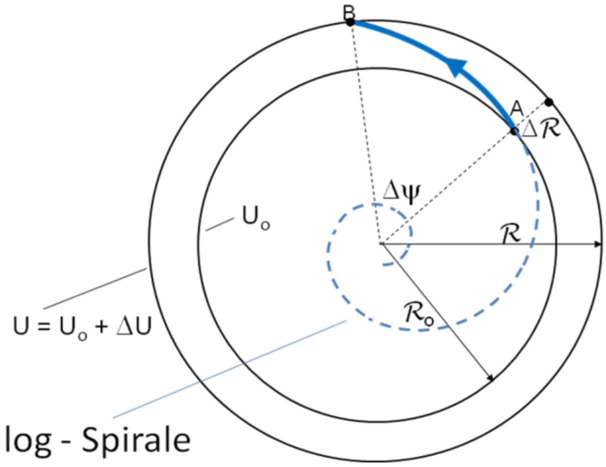
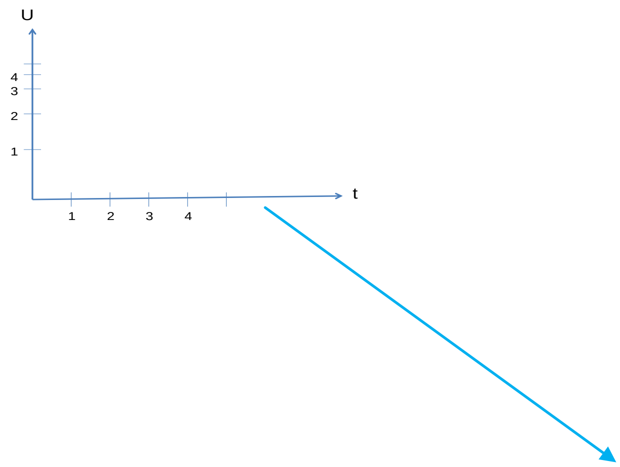


Abbildung 3b

Betrachten wir nun entsprechend Abb. 3b den Radius als eine Funktion der Zeit: $\mathcal{R} = \mathcal{R}(t)$, dann erhalten wir mit der Beziehung $U = 2\pi \cdot \mathcal{R} = f(t)$ als dimensions-reduzierten Raum eine logarithmische Raum-Zeit-Spirale. Dabei ist die Skala von $U = f(t)$ als Radial-Koordinate in einem Polar-System (t, U) nichtlinear, außer im Sonderfall $t \sim U$ (Abb. 4).



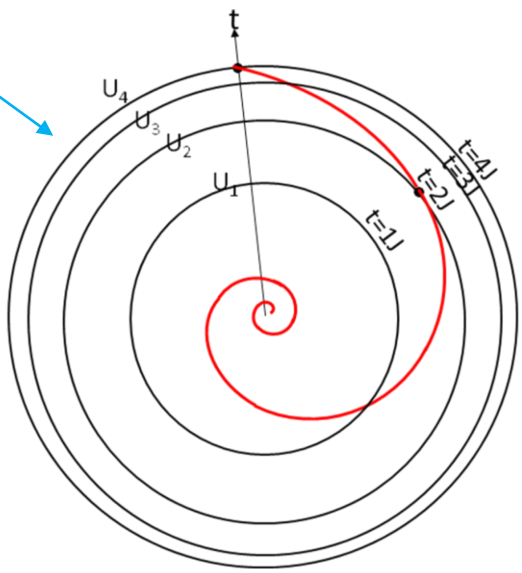


Abbildung 4:

Beispiel einer Radialkoordinate t mit nichtlinearer Einheitenskala

Beziehen wir nun diese Raum-Zeit-Relation (t, U) auf das zweidimensional reduzierte Universum, dann beschreibt Gleichung (9) eine **Raumzeitspirale**. Vergleichen wir dann Gleichung (8) mit (9), so erhalten wir das folgende interessante Ergebnis:

$$
\left.\begin{array}{llll}
(8) & \text{RW-Metrik} & \rightarrow \ \text{Lichtspirale} & R = R_o \cdot e^{A\cdot(\varphi - \varphi o)} \\
(9) & \text{Kreis-Geometrie} & \rightarrow \ \text{Raumzeitspirale} & \mathcal{R} = \mathcal{R}_o \cdot e^{2\pi\cdot(\psi - \psi o)}
\end{array}\right] \overset{!}{=}
$$

Nehmen wir nun an: $R = \mathcal{R}$, $\Delta\varphi = \Delta\psi$, dann folgt aus der Gleichsetzung von (8) und (9):

$$A = c/\dot{R} = 2\pi$$

Daraus folgt:

$$\boxed{c = 2\pi\cdot\dot{R} \overset{\text{Def.}}{=} v_{exp}} \qquad (10)$$

Was bedeutet nun Gleichung (10) für die Kosmologie?
Bezogen auf das Universum ist v_{exp} die Expansionsgeschwindigkeit des auf eine Dimension (den Kreisumfang U) reduzierten Weltalls. Wenn wir also die Lichtspirale der Robertson-Walker-Metrik als Raumzeitspirale auffassen, sie also gleich der Spirale (9) setzen, dann ist die Expansionsgeschwindigkeit des Universums gleich der Lichtgeschwindigkeit *c*! Dies gilt sowohl für das Milne-Modell mit konstantem *c*, als auch für ein Modell-Universum mit Materie-/ Energieinhalt und einer entsprechend zeitlich veränderlichen Lichtgeschwindigkeit. Dabei ist der Weg des Lichts im absolut leeren Universum der gleiche wie in einem Universum, das Materie beinhaltet. Der Materieinhalt beeinflusst also die Expansionsgeschwindigkeit v_{exp} in der gleichen Weise wie die Lichtgeschwindigkeit *c*! Dies macht sich bei Rotverschiebungsmessungen dadurch bemerkbar, dass wir unabhängig davon, ob das Universum leer ist oder mit Materie / Energie erfüllt, immer das gleiche z_{mess} registrieren (siehe Beitrag [6]). Die gemessene Rotverschiebung wurde in [6] durch die dortige Formel (9) beschrieben:

$$\underline{\boldsymbol{z_{mess} + 1 = (z_{exp} + 1)\cdot(z_{ret} + 1)}} \qquad (11)$$

wobei allgemein gilt : $z_{mess} + 1 = t_o/t$, $z_{exp} + 1 = \lambda/\lambda_o = (t_o/t)^x$, $z_{ret} + 1 = c/c_o = (t_o/t)^{1-x}$ (12)

Das heißt: Unter der Bedingung $A = (c/\dot{R})$ = konst. sowie $c/c_o = (t_o/t)^{1-x}$ lässt sich der Weg eines Photons im Universum durch eine logarithmische Spirale modellunabhängig beschreiben, denn es gilt: **Lichtspirale = Raumzeitspirale**

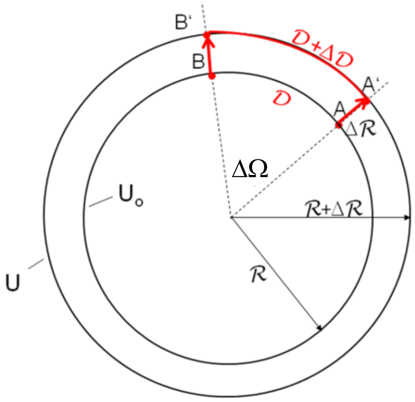
Das bedeutet weiter, dass aus den Beziehungen (10) − (12) ein neues Modell eines Universums entwickelt werden könnte, durch das eine Reihe von Problemen des aktuellen Konkordanzmodells auf einfache Weise gelöst bzw. sich erübrigen würde, wie die Dunkle Energie, die Inflationsphase und das Horizontproblem. Ein Ansatz dazu findet sich in [4].

Hubble-Gesetz und Lichtspirale

Ein weiteres Indiz für die Zulässigkeit der vorangegangenen Betrachtungen ist, dass die log.-Spirale als Raumzeitspirale = Lichtspirale auch das Hubble-Gesetz beinhaltet.

Betrachtet man auf einem expandierenden Kreis zwei ruhende Punkte A und B im Abstand $\mathcal{D}$ voneinander, so entfernen sich diese unter Beibehaltung ihres Standorts (ihrer Hausnr.) mit der Fluchtgeschwindigkeit $\Delta\Omega\cdot dR/dt$, ($\Delta\Omega$ = konst.). Dann haben sie nach der Zeit Δt den Abstand $\mathcal{D} + \Delta\mathcal{D}$ voneinander, bzw. differenziell nach der Zeit dt den Abstand $\mathcal{D} + d\mathcal{D}$ (siehe Abb. 5.).

Abbildung 5: Verhalten zweier, ausschließlich mit der Expansion eines Kreises mitbewegte Punkte A und B



Dann gilt:

$1 + z_{exp} = (\lambda+\Delta\lambda)/\lambda = (\mathcal{D} + \Delta\mathcal{D})/\mathcal{D}$, $\quad z_{exp}$ = expansionsbedingte kosmische Rotverschiebung

$\mathcal{D} = \mathcal{R}\cdot\Delta\Omega$, $\mathcal{D} + \Delta\mathcal{D} = (\mathcal{R} + \Delta\mathcal{R})\cdot\Delta\Omega$

Umbenennung: $\mathcal{D} + \Delta\mathcal{D} = D$, $\mathcal{D} = D_o$, $\quad \mathcal{R} + \Delta\mathcal{R} = R \quad \mathcal{R} = R_o$ $\quad\rightarrow$

$1 + z_{exp} = D/Do = R/R_o$, $\quad\rightarrow\quad$ $\ln(1 + z_{exp}) = \ln(R/R_o)$

Betrachten wir nun die Winkelkoordinate Ψ in Abb. 3, so gilt:
$d\psi = 2\pi\cdot dR/R$.

Durch Integration erhält man: $\quad \psi - \psi_o = 2\pi\cdot\ln(R/R_o) \quad\rightarrow$

$\psi - \psi_o = 2\pi\cdot\ln(1 + z_{exp}) \quad\rightarrow$

Sei $\psi - \psi_o = \Delta\psi \quad\rightarrow\quad$ $\mathbf{\ln(1 + z_{exp}) = \Delta\psi/(2\pi)}$ (13)

$\Delta\psi$ ist eine endliche, mit der Rotverschiebung z_{exp} gemäß Gl. (13) fest verbundene Größe. Diese Beziehung erlaubt es $\mathbf{\Delta\psi = \Delta\Omega}$ zu setzen.

$D = \Delta\psi\cdot R = \Delta\Omega\cdot R \quad\rightarrow\quad \dot{D} = \Delta\Omega\cdot\dot{R}$

Nach Gl. (10) gilt: $\quad c = 2\pi\cdot\dot{R}$

Daraus folgt mit Gl. (13): $\quad \dot{D} = \Delta\Omega\cdot\dot{R} = \Delta\Omega\cdot c/(2\pi) = (\Delta\Omega/\Delta\psi)\cdot c\cdot\ln(1 + z_{exp}) \quad\rightarrow$

$\mathbf{\dot{D} = c\cdot\ln(1 + z_{exp})}$ (14)

Wir vergleichen nun Gl. (14) mit dem exakten Hubble-Gesetz für das Milne-Universum [9]:

Hubble-Gesetz allgemein gültig: $\quad \mathbf{\dot{D} = H\cdot D} \quad$ H = Hubble-Parameter $\quad\rightarrow$

Für das Milne-Universum gilt: $\quad \boxed{\mathbf{H\cdot D = c\cdot\ln(1 + z)}}$ (15)

Dann erhalten wir folgendes Ergebnis:

Beide Gleichungen (14) und (15) sind identisch, wenn wir $z = z_{exp}$ setzen. Genau dies ist aber geboten, da sich die kosmische Rotverschiebung z des Hubble-Gesetzes allein auf die Dynamik des Universums, also ausschließlich auf dessen Expansion bezieht. Nach unserer Hypothese gilt dies aber auch für ein materieerfülltes Universum mit **zeitveränderlicher** Lichtgeschwindigkeit unter der Voraussetzung**:**

$$\mathbf{A = c/\dot{R} = 2\pi\ !}$$

Danach führen beide Modelle zur selben Gleichung. Das liegt meines Erachtens daran, dass beide Lichtwege raumzeitlich gesehen im zweidimensional reduzierten Universum die gleiche logarithmische Spirale beschreiben.

Zusammenfassend kann Folgendes gesagt werden:
Wenn wir, wie bisher die Lichtgeschwindigkeit als räumlich **und** zeitlich konstant ansehen, kann der Lichtweg im Universum für das Milne-Modell, und nur für das Milne-Modell, durch eine logarithmische Spirale beschrieben werden (c = konst. und $\dot{R}$ = konst.). Lassen wir hingegen die zeitliche Konstanz von c fallen, ergibt sich wegen der Bedingung $A = (c/\dot{R})$ = konst. zweierlei: Erstens ist der Lichtweg dann ebenfalls durch die gleiche log. Spirale beschreibbar, und zweitens stimmt dann die Expansionsgeschwindigkeit des Universums mit der Lichtgeschwindigkeit überein ($c = v_{exp}$). Bei alldem muss man sich aber immer bewusst machen, dass der beschriebene Lichtweg nicht real ist, sondern nur ein Abbild der Wirklichkeit im Robertson-Walker-Raum. Dennoch scheint mir die Bedeutung der abgeleiteten Beziehungen darin zu bestehen, dass bei zeitvariablem c der Lichtweg sowohl in einem absolut leeren als auch in einem materieerfüllten Universum durch ein und dieselbe Raumzeitspirale beschrieben werden kann.

Literatur

[1] Albrecht, A.; Magueijo, J.
A time varying speed of light as a solution to cosmological puzzles,
Theoretical Physics, Imperial College, 1999

[2] Casado, J.:
A Simple Cosmological Model with Decreasing Light Speed.
arxiv:astro-ph/0310178, 2003

[3] Moffat, J. W.
Variable Speed of Light Theories
arxiv:astro-ph/0210042v1 1 Oct 2002

[4] Steffen, Peter:
Zeit, die vierte Dimension des Universums,
Tectum Verlag, Marburg, 2009

[5] Steffen, Peter:
Warum die Dunkle Energie eine Fata Morgana sein könnte
www.avl-lilienthal.de. , 2014

[6] Steinhardt, Paul J.
Kosmische Inflation auf dem Prüfstand,
Spektrum der Wissenschaft 8/11 - August 2011

[7] Unzicker, A.
Die Dunkle Energie ist tot – Es lebe Einstein
https://heise.de/-3358616 , Oktober 2016

[8] Vaas, Rüdiger
Dunkle Energie: Alles nur Illusion?
https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/dunkle-energie-alles-nur-illusion/ , Mai 2010

[9] Walker, David
Unveröffentlichte Abhandlung über ‘Hubble-Gesetz, Le Maître-Gleichung, Friedmann-Gleichung‘
Sternwarte Lübeck, April 2014

[10] Walker, David
Über die Geometrie der Roberson-Walker-Räume am Beispiel des Milneschen Universums
Seminar der Astronomischen Vereinigung, Lilienthal, Mai 2019 (unveröffentlicht).

Dank.

An dieser Stelle gilt mein Dank zum wiederholten Male Herrn Dr. David Walker, der meine Überlegungen in vielen Diskussionen kritisch begleitet hat.

Peter Steffen