

Das relativistische Modell eines stationären Hintergrunduniversums und die Supernova-Ia-Daten

Peter Ostermann

Das einfachste überhaupt in Betracht kommende Linienelement der allgemeinen Relativitätstheorie beschreibt ein stationäres Hintergrunduniversum (SU). Dagegen steht das in den letzten Jahren entwickelte Concordance/Consensus Model (CCM) für einen evolutionären Kosmos. Beide Modelle werden hinsichtlich der Supernova-Ia-Daten miteinander verglichen.

Das hier zur Diskussion gestellte stationäre Modell impliziert nicht nur eine konstante universale Lichtgeschwindigkeit c^* sondern auch zeitlich konstante Werte z der Rotverschiebung von Galaxien, die sich bezüglich der kosmische Hintergrundstrahlung in Ruhe befinden. Es unterscheidet sich damit grundsätzlich von der seinerzeit so genannten Steady-State Theory, die weder stationäre Werte von c^* noch von z beinhaltet.

Das neue Modell kommt den fundamentalen Beobachtungstatsachen der Supernova-Ia-Helligkeiten überraschend nahe. Es wird konkret nachgewiesen, daß die Berücksichtigung eines lokalen Hubble-Kontrasts - im Bereich der gemessenen Werte von 59 - 72 km/s/Mpc - zu einer nahezu vollständigen statistischen Übereinstimmung mit den von RIESS et al. 2004/2006 zusammengestellten SNe-Ia-Daten führen kann.

Vor dem Hintergrund eines stationären Universums, in das unser evolutionärer 'lokaler' Kosmos eingebettet wäre, erscheint auch die Koinzidenz-Problematik des gegenwärtigen Modells in einem anderen Licht. Was nämlich von der heutigen Kosmologie als in unregelmäßiger zeitlicher Entwicklung befindliche Struktur beschrieben wird, braucht nicht notwendigerweise das gesamte Universum zu sein.

- - -

Es gibt genau ein *stationäres* Linienelement der allgemeinen Relativitätstheorie, das eine *konstante universale* Lichtgeschwindigkeit $c^* = c$ (und damit großräumige Euklidizität) impliziert. Dieses einfachste überhaupt in Betracht kommende Linienelement ist frei von Horizontproblemen und beinhaltet zeitunabhängige Werte der Rotverschiebung sowie aller daraus abgeleiteten Größen. Ich werde zeigen, daß es den fundamentalen Beobachtungstatsachen der Supernova-Ia-Helligkeiten sehr nahe kommt.

I) Eine erste Konfrontation signifikanter 'Flat-Space'-Modelle mit den Supernova-Ia-Daten

Zum Vergleich mit den Supernovae-Ia- (SNe-Ia-) Daten ist hier der jeweilige Entfernungsmodul $m - M$ als Maß der scheinbaren Helligkeiten gegen die Rotverschiebung z aufgetragen. In Anlehnung an RIESS *et al.* [1], [2] sind die terrestrisch entdeckten Supernovae Ia des goldenen Datensatzes ('gold sample') als graue Rauten, die mit dem Hubble-Space-Teleskop entdeckten als rot gefüllte Kreise eingezeichnet.

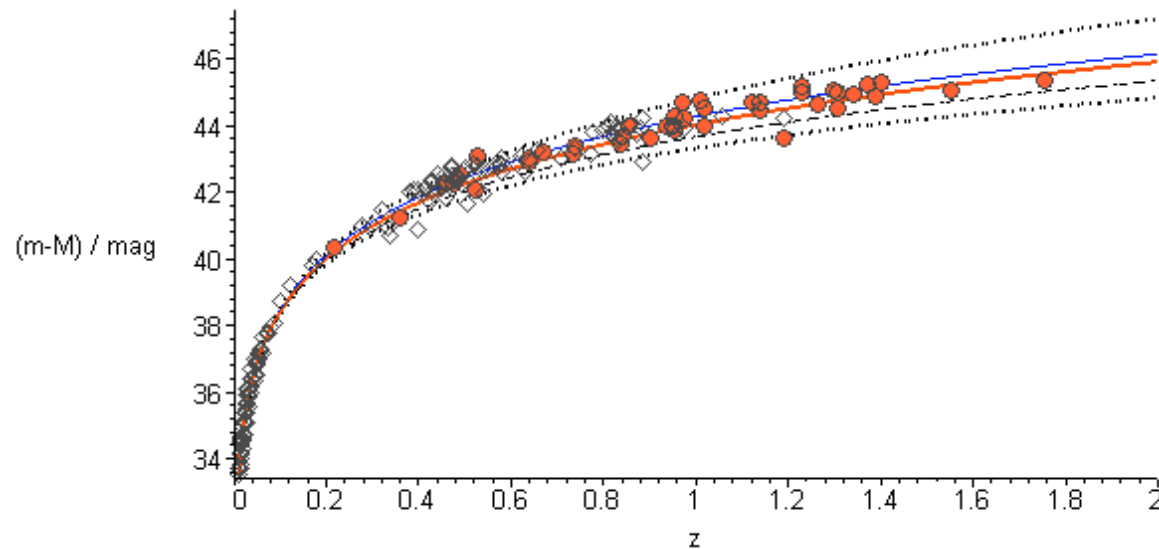


Abb. 1 - Von oben nach unten:

Steady-state Theory [SST, grau punktierte Linie], Concordance Model [CCM, blau durchgezogen], stationäres Hintergrunduniversum [SU, rot durchgezogen], EINSTEIN-DESITTER [EdS, grau unterbrochen] und ein strahlungsdominiertes Modell [RDM, grau punktiert].

Die bis vor wenigen Jahren favorisierte EdS-Kosmologie wurde hierdurch ebenso widerlegt wie die SST. Ohne Kenntnis der roten Linie eines stationären Universums sah man sich gezwungen, den SNe-Ia-Daten durch die blau gezeichnete CCM-Kombination der EdS- und der SST-Modelle numerisch Rechnung zu tragen.

II) Das Linienelement eines stationären Hintergrunduniversums (SU)

Es hat physikalisch keinen Sinn, einem als homogen und isotrop vorausgesetzten Bild des Universums andere Eigenschaften zuzuschreiben als die denkbar einfachsten – denn niemand wird jemals davon ausgehen können, das gesamte Hintergrunduniversum erlauben zu haben, weder räumlich noch zeitlich.

Postulat I – In Bezug auf hinreichend große Skalen ist das Universum stationär, homogen und isotrop.

Postulat II – Abgesehen von lokalen Abweichungen ist die universale Lichtgeschwindigkeit $c^* = c$.

Allen konkreten Beobachtungen, die einem solchen Modell nicht zu entsprechen scheinen, läßt sich mit dem Einwand begegnen, daß es sich dabei um 'lokale' Abweichungen handele, die über hinreichend große Skalen nicht mehr auftreten werden. In *universalen* (konformen) Koordinaten (t^*, l^*) folgt sofort

$$d\bar{\sigma}_{\text{SU}}^{*2} = \zeta_{\text{SU}}^{*2} \left\{ c^2 dt^{*2} - dl^{*2} \right\} \quad (1)$$

mit

$$\zeta_{\text{SU}}^* = e^{Ht^*}. \quad (2)$$

Wegen der exponentiellen Form des Zeitskalars e^{Ht^*} , hängen relative zeitliche Änderungen allein von *Differenzen* $\Delta t^* = t^* - t_{\text{R}}^*$ ab. Dieser Sachverhalt erlaubt es, für beliebige durch (1), (2) beschriebene zusammenhängende Beobachtungskomplexe den zeitlichen Bezugspunkt jeweils $t_{\text{R}}^* = 0$ zu setzen. Bei entsprechender Festlegung geeigneter Einheiten ist kein spezieller Punkt der universalen Zeitskala ausgezeichnet.

Wegen (1), (2) zeigen beliebige bezüglich der Hintergrundstrahlung ruhende Atomuhren die lokale Eigenzeit bzw. die lokale Eigenlänge an zu

$$\begin{aligned} d\tau_{\text{SRT}} &\approx e^{Ht^*} dt^*, \\ d\lambda_{\text{SRT}} &\approx e^{Ht^*} dl^*. \end{aligned} \quad (3)$$

In Blatt VII) werden Obergrenzen für die Eigenlänge und Eigenzeit kosmischer Strukturen aufgezeigt.

III) Integrierte Koordinatenzeit und FLRW-Form

Zur Gegenüberstellung mit der bisherigen Auffassung der relativistischen Kosmologie soll das stationäre Linienelement (1), (2) nun auf FRIEDMANN-LEMAÎTRE-ROBERTSON-WALKER-(FLRW-)Form gebracht werden. Die *integrierten* Koordinaten t' bzw. $T' \equiv 1/H + t'$ und r' sind implizit definiert durch

$$t^* \equiv \frac{\ln(HT')}{H}, \quad r^* \equiv \frac{r'}{HT'} . \quad (4)$$

Eine Transformation ergibt nun

$$\boxed{d\bar{\sigma}_{\text{SU-FLRW}}^2 = c^2 dt'^2 - (HT')^2 dl'^2} . \quad (5)$$

Mit dem *Skalenfaktor* $a = HT'$ ($\equiv 1 + Ht'$) scheint diese Form [3] zwar nicht mehr singularitätsfrei, doch läßt sich (auch) mit (5) die fundamentale *Unabhängigkeit der HUBBLE-Beziehung von der Zeit* [s. (8)] leicht verifizieren! Der 'Decelerations'-Parameter $q \equiv -a (d^2a/dt'^2) / (da/dt')^2$ ist hier

$$q_{\text{SU}} \equiv 0 . \quad (6)$$

Die Geschichte des 'Decelerations'-Parameters q zeigt eine klare Tendenz, sich letztlich auf diesen Wert *Null* des stationären Linienelements einzustellen: Im Hinblick auf das durch Beobachtungstatsachen widerlegte Linienelement der (angesichts dort zeitabhängiger Rotverschiebungswerte m. E. zu Unrecht so genannten) Steady-State Theory [4], [5] wurde seinerzeit der *negative* Wert $q = -1$ erwogen. Danach glaubte man bis vor wenigen Jahren, daß - z. B. dem EINSTEIN-DESITTER-Modell entsprechend - der 'Decelerations'-Parameter zeitlich veränderlich, jedenfalls aber *positiv* ($q > 0$) sein müsse.

Die SNe-Ia-Beobachtungsdaten von 1998/99 stellten deshalb eine große Überraschung dar, indem sie einen *negativen* Wert ($q < 0$) zu beweisen schienen. Dieses Ergebnis wurde inzwischen dahingehend eingeschränkt [1], daß q während einer inflationären Phase ('superluminal expansion') zwar *negativ*, danach aber in der Vergangenheit *positiv*, und heute wiederum *negativ* sei. Wohl gelingt es dem derzeitigen CCM, die vermeintlich abwechselnden 'Beschleunigungs- und Bremsphasen des Universums' mit überraschender numerischer Konsistenz zu beschreiben - doch dieses Modell impliziert, daß der Kehrwert eines zeitlich veränderlichen HUBBLE-Parameters, $1/H(t')$, genau nur ein einziges Mal mit dem 'Alter des Universums' $T(t')$ übereingestimmt hätte, und zwar *zufällig gerade heute*. Diese Koinzidenz sowie die mehrfachen Vorzeichenwechsel von q treten beim stationären Modell nicht auf.

IV) Rotverschiebung – *signifikanter* bzw. *konventioneller* HUBBLE-Parameter

Für *relativ zur Hintergrundstrahlung* ruhende Lichtquellen ($l^* = \text{konstant}$, 'comoving coordinates') resultiert aus (1) - (3) gemäß

$$z \equiv \frac{\lambda_{\text{beobachtet}}}{\lambda_{\text{emittiert}}} - 1 \quad (7)$$

sofort der *zeitlich konstante* Rotverschiebungsparameter

$$z = e^{H\Delta t^*} - 1 = e^{Hl^*/c} - 1. \quad (8)$$

Im Hinblick auf die 'Flat-Space'-FLRW-Form $d\bar{s}_{\text{FLRW}}^2 = c^2 dt'^2 - a^2 dl^{*2}$ lässt sich (7) auch umschreiben in

$$z \equiv \frac{a(t'_B)}{a(t'_E)} - 1 \equiv \frac{\Delta a_{\text{BE}}}{a(t'_E)} \approx \frac{\dot{a}}{a} \Delta t'. \quad (9)$$

Für Lichtsignale gilt mit $d\bar{s}_{\text{FLRW}} = 0$ bzw. $\Delta l' \approx a \Delta l^*$ näherungsweise

$$\Delta t' \approx \frac{a \Delta l^*}{c} \quad \text{bzw.} \quad \Delta t' \approx \frac{\Delta l'}{c}, \quad (10)$$

und eingesetzt in (9) folgt schließlich HUBBLES Gesetz in *signifikanter* bzw. *konventioneller* Form:

$$cz \approx \dot{a} \Delta l^* := H_s \Delta l^* \quad \text{bzw.} \quad cz \approx \frac{\dot{a}}{a} \Delta l' := H_k \Delta l'. \quad (11)$$

wobei $\Delta l' \approx c \Delta t'$ als '*natürliche*' Distanz betrachtet wird. Die rechts stehende konventionelle Form ist irreführend (s. SST), weil bei Anwendung auf eine nach Voraussetzung ruhende kosmische Lichtquelle nicht $\Delta l'$ zeitlich konstant ist, sondern die *universale* Distanz Δl^* ('comoving coordinates').

V) Die scheinbare Helligkeit in Abhängigkeit von z

Daraus ergibt sich (s. [6]) nach der üblichen Vorgehensweise als Beziehung für die scheinbare Helligkeit $I(z)$ [$\equiv m(z)$] ein - mit gleichbleibenden Werten von z - zeitunabhängiger Ausdruck

$$I(z) = \frac{LH^2}{4\pi c^2} [(1+z)\ln(1+z)]^{-2}. \quad (12)$$

Hier steht $L \equiv 4\pi I d_L^2$ ($\equiv M$) für die absolute Helligkeit einer in Ruhe befindlichen Lichtquelle. Um dieses Resultat unmittelbar mit den in [1] zusammengestellten Supernova-Ia-Daten vergleichen zu können, sei der durch Bildung des Logarithmus aus (12) entstehende Entfernungsmodul

$$m_{\text{SU}} - M = 5 \log[(1+z)\ln(1+z)] + 25 + 5 \log\left(\frac{c/H}{\text{Mpc}}\right). \quad (13)$$

angegeben. Ein solcher Zusammenhang ist auch bei anderen Modellen von fundamentalem Interesse, weil er eine überprüfbare Beziehung zwischen den unmittelbaren Meßgrößen der Magnituden m extragalaktischer 'Standardkerzen' und den zugehörigen Rotverschiebungswerten z herstellt (s. VIII).

Die bei dem hier behandelten stationären Modell zeitunabhängige Rotverschiebung spricht deutlich gegen eine naive Deutung als DOPPLER-Effekt. Und zwar sind die folgenden beiden Aussagen offensichtlich unvereinbar: a) Die Fluchtgeschwindigkeit von Galaxien ist *umso größer*, je weiter entfernt diese von uns sind; und b) Bei Deutung der zeitunabhängigen Rotverschiebungen (8) als DOPPLER-Effekt behält jede Galaxie eine *konstante* Fluchtgeschwindigkeit für alle Zeiten bei.

Wenn aber die kosmische Rotverschiebung nicht auf eine reale DOPPLER-Flucht der Spiralnebel zurückzuführen ist, dann bedeutet (3) umgekehrt, daß atomare Maßstäbe (lokale Objekte) gegenüber den - mit (8) aus den *Meßwerten* von z resultierenden - gleichbleibenden Abständen Δl^* zwischen den Galaxien schrumpfen. Dies sieht zwar so aus, *als ob* sich der leere Raum in relativer Expansion befände, doch folgt daraus *keine* punktförmige Anfangssingularität. Bei naiver Betrachtung müßten stattdessen die heutigen Strukturen in der Vergangenheit einmal so groß gewesen sein, daß sie einander berührt bzw. den gesamten Raum gleichmäßig erfüllt hätten.

VI) Stationärer EINSTEIN-Tensor und *negativer* Gravitationsdruck

Nachdem die Existenz eines negativen Drucks ('dark pressure') inzwischen grundsätzlich akzeptiert ist, hindert nichts mehr daran, zuletzt das einfachste aller relativistischen kosmologischen Modelle (SU) als *stationäre* Alternative zum gegenwärtigen Concordance Model (CCM) zur Kenntnis zu nehmen.

Der zu dem Linienelement (1), (2) gehörende Energie-Impuls-Tensor folgt aus EINSTEINS ursprünglichen Gleichungen $E_{ik} \equiv R_{ik} - \frac{1}{2}Rg_{ik} = \kappa T_{ik}$ die sich hier in der Form

$$E_{ik}^* = \begin{pmatrix} \frac{2H^2}{c^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \kappa p^* g_{ik}^* = \kappa T_{ik}^* \quad (14)$$

schreiben lassen und dabei einen *negativen* Gravitationsdruck (sowie einen betragsmäßig gleichen Anteil an 'dunkler' Energie)

$$\boxed{p^* = -\frac{\rho^*}{3}} \quad (15)$$

implizieren, wobei der Ausdruck

$$\rho^* \equiv T_0^{*0} = \rho_c e^{-2Ht^*} \quad (16)$$

die phänomenologische *Energiedichte* (mit $\rho_c = 3H^2/\kappa c^2$ als *kritischer* Dichte) bedeutet. Es sei sogleich darauf hingewiesen, daß der - einer stationär veränderlichen kosmologischen 'Konstanten' entsprechende - Gravitationsdruck p^* negativ sein *muß*. Und zwar deshalb, weil die Wände eines fiktiven Kastens, der eine Vielzahl statistisch in Ruhe befindlicher Galaxien enthielte, bei hinreichender Größe *nach außen* ziehen müßte, damit die inneren Galaxien nicht zusammenklumpen.

Wie aus (14) ersichtlich, sollte die phänomenologische *Massendichte*, im Unterschied zur vollen Energiedichte ρ^* , lediglich $\mu^* = \frac{2}{3}\rho^*/c^2$ betragen ($\frac{1}{3}\rho^*/c^2$ wäre der erwähnte 'dunkle' Anteil).

VII) Die kosmischen Obergrenzen von Eigenlänge und Eigenzeit

Die mit Atomuhren und spektralen Maßstäben meßbaren Intervalle dt_{SRT} , dl_{SRT} von Eigenzeit und Eigenlänge sind gemäß der speziellen Relativitätstheorie (SRT) *immer gemeinsam* definiert durch

$$\boxed{d\sigma_{\text{SRT}}^2 = c^2 dt_{\text{SRT}}^2 - dl_{\text{SRT}}^2}. \quad (17)$$

Bei Benutzung der *integrierten* Koordinaten (r', T') , die implizit gegeben sind durch

$$t^* \equiv \frac{\ln(HT')}{H}, \quad r^* \equiv \frac{r'}{HT'}, \quad (18)$$

transformiert sich das stationäre Linienelement (1), (2) in

$$d\bar{s}'^2 = \left[1 - \left(\frac{r^*}{R_H} \right)^2 \right] c^2 dT'^2 + 2 \left(\frac{r^*}{R_H} \right) cdT'dr' - dr'^2 - r'^2 d\Sigma'^2 \quad (19)$$

Es ist offensichtlich, daß es sich dabei um eine sehr gute Approximation an das Linienelement der SRT (17) handelt. Dies gilt allerdings nur für *lokale* kosmische Bereiche, die durch die Bedingung

$$\boxed{0 \leq r^* \stackrel{!}{<} R_H} \quad (20)$$

mit dem konstanten HUBBLE-Radius $R_H \equiv c/H$ begrenzt sind. Da hier die - mit den statistisch ortsfesten Positionen der Galaxien real verknüpfte - *universale* Entfernung r^* auftritt und der Koordinatenursprung $r^* = 0$ willkürlich ist, könnte (20) bedeuten, daß ein stationäres Universum mit '*lokal*' *zusammenhängenden kosmischen Regionen* übersät ist. Ebenso läßt sich aus der äquivalenten Bedingung

$$\boxed{T' \stackrel{!}{>} r'/c \geq 0} \quad (21)$$

schließen, daß es keine Strukturen geben sollte, die in Bezug auf ihre Eigenzeit älter wären als $T_H \equiv 1/H$. Bei T_H braucht es sich also nicht um das Alter des gesamten Universums zu handeln.

VIII) Das Concordance/Consensus Model (CCM)

Es besteht kein Zweifel, daß das Concordance/Consensus Model (CCM) die *derzeitigen Beobachtungstatsachen* der Kosmologie überaus erfolgreich zusammenfaßt. Doch trotz aller numerischen Erfolge sind einige darin enthaltene, willkürlich anmutende Koinzidenzen eher für einen eingebetteten evolutionären Kosmos vorstellbar als für das gesamte Universum.

Werden die um das kosmologische Glied Λg_{ik} erweiterten EINSTEINSchen Gleichungen zugrundegelegt, so ergibt sich mit $\Omega_\Lambda \equiv \rho_\Lambda/\rho_c$ und $\rho_M + \rho_\Lambda = \rho_c$ bei fehlendem phänomenologischen Druck $p_M = 0$ und - in diesem Zusammenhang legitimer - Vernachlässigung der Strahlungsbeiträge hier der Skalenfaktor

$$a_{\text{CCM}}(t') = \left\{ \left(\frac{1}{\Omega_\Lambda} - 1 \right) \sinh^2 \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - \sqrt{\Omega_\Lambda}}{1 + \sqrt{\Omega_\Lambda}} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\Omega_\Lambda} H t' \right] \right\}^{1/3}. \quad (22)$$

Daraus läßt sich die zu (13) korrespondierende CCM-Beziehung zwischen der scheinbaren Helligkeit der SNe Ia und ihrer jeweiligen Rotverschiebung ableiten. Ohne Berücksichtigung 'lokaler' Inhomogenitäten oder intergalaktischer, nicht-verfärbender Absorption (s. [1]) repräsentiert das CCM die entsprechenden Meßwerte optimal. Der in den Abbn. 1, 4 und 7.b (s.u.) stets mit dem von RIESS *et al.* angegebenen 'Best-Fit'-Wert $\Omega_\Lambda \approx 71\%$ gezeichnete CCM-Entfernungsmodul ergibt sich aus (22) zu

$$m_{\text{CCM}} - M = 5 \log \left[(1+z) \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{(1-\Omega_\Lambda)(1+z')^3 + \Omega_\Lambda}} \right] + 25 + 5 \log \left(\frac{c/H}{\text{Mpc}} \right). \quad (23)$$

Das erstaunliche ist nun - dies wurde in [7] gezeigt - daß die von BENNETT *et al.* [8] publizierten CCM-Parameter $\Omega_\Lambda \approx 0.73$, $\Omega_M \approx 0.27$ nahezu exakt durch die Bedingung $H_0 T_0 = 1$ determiniert sind (H_0 derzeitiger HUBBLE-Parameter, T_0 derzeitiges 'Alter des Universums'). Doch diese Forderung, die beim stationären Modell ohne weiteres und für alle Zeiten identisch erfüllt ist, kann beim CCM nur *vorübergehend* erfüllt sein. Und zwar von den unendlich vielen Jahren, die auf den dort zugrundegelegten 'Urknall' folgen sollen, gerade nach $13-14 \times 10^9$ a - das heißt also: ausgerechnet 'heute'!

IX) Das stationäre Modell im detaillierten Vergleich mit den Supernova-Ia-Daten

Die in den letzten Jahren gewonnenen Daten der Supernovae (SNe) Ia gehören zweifellos zu den aussagestärksten kosmologischen Meßwerten überhaupt. Sie beschreiben die Abhängigkeit der scheinbaren Helligkeiten der als 'Standardkerzen' benutzten SNe Ia von der jeweiligen Rotverschiebung z und wurden zuerst in [9], [10] und zuletzt in [1], [2] publiziert (wo sich weitere Referenzen finden).

Ich werde hier ausschließlich auf die von RIESS *et al.* [1], [2] zusammengestellten Datensätze zurückgreifen. Darin sind konkret 140 ausgewählte ('gold sample') terrestrisch entdeckte SNe Ia sowie 19+22 am Hubble-Space-Telescope (HST) entdeckte enthalten. Den in den Abbildungen von [1] offenbar benutzten Wert der HUBBLE-Konstanten $H_0 = 65 \text{ km/s/Mpc}$ werde ich - wo nichts anderes gesagt wird - für H übernehmen, ebenso die dort für das 'Flat-Space'-CCM ermittelten 'Best-Fit'-Werte $\Omega_M \approx 29\%$, $\Omega_\Lambda \approx 71\%$ für die zum Teil 'dunklen' Anteile von Materie und Energie an der kritischen Dichte ρ_c .

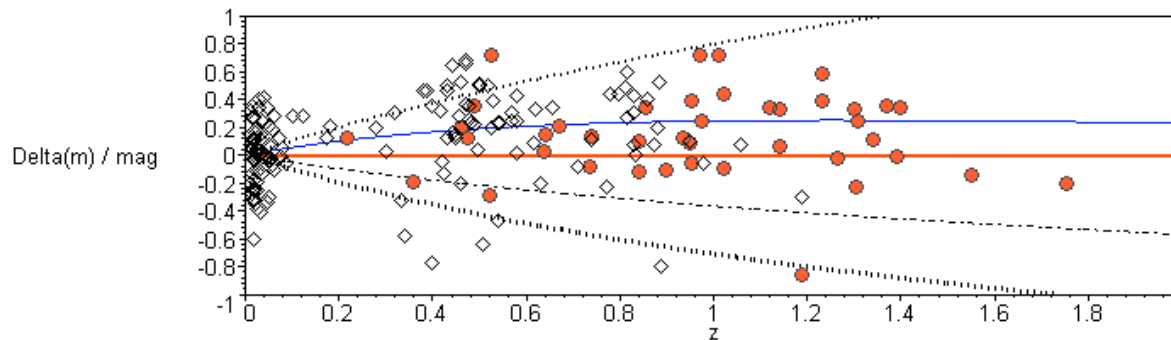


Abb. 2: Die in Abb. 1 teilweise schwer erkennbaren Unterschiede treten als 'residuals' im direkten Vergleich mit dem stationären Modell (rot) deutlich hervor.

Die verschiedenen Kurven entsprechen (wie in Abb. 1 usw.) von oben nach unten den Skalenfaktoren:

$$a_{\text{SST}} = e^{Ht'}, \quad a_{\text{CCM}} \text{ s. Formel (22)}, \quad a_{\text{SU}} = 1+Ht', \quad a_{\text{EdS}} = (1+\frac{3}{2}Ht')^{2/3}, \quad a_{\text{RDM}} = (1+2Ht')^{1/2}.$$

Die Abbn. 1, 2 korrespondieren grundsätzlich 'FIG. 4', 'FIG. 6' bei RIESS *et al.* [1]. Die dort und in [2] entnommenen Daten stimmen mit den hier verwendeten exakt überein. Daß sich das auf den Blättern II) - VII) besprochene stationäre Universum als Referenz-Modell anbietet, geht u. a. aus der in 'FIG. 6' kommentarlos benutzten "Coasting, $q(z) = 0$ "-Vergleichsbasis hervor (s. Blatt III).

Wie nun gezeigt werden soll, kommen zur Erklärung der vergleichsweise geringen Abweichungen zwischen den CCM- und den SU-Linien (s. Abbn. 1, 2) vor allem zwei Möglichkeiten in Frage. Dabei handelt es sich einerseits um die Berücksichtigung eines eventuell gegebenen lokalen HUBBLE-Kontrasts $\delta H/H$ und andererseits um eine in [1] diskutierte nicht-verfärbende Absorption durch intergalaktischen 'grauen' Staub. Letztgenannte Alternative wurde dort - allerdings im Hinblick auf ältere Modelle mit wesentlich größeren Abweichungen - verworfen.

Bei der obigen Abb. 1 (s. Blatt I) fällt sofort ins Auge, daß eine kleine vertikale Verschiebung um $\Delta m \approx 0.2^m$ genügen würde, alle dort erkennbaren Unterschiede zwischen der roten (SU) und der blauen (CCM) Linie aufzuheben:

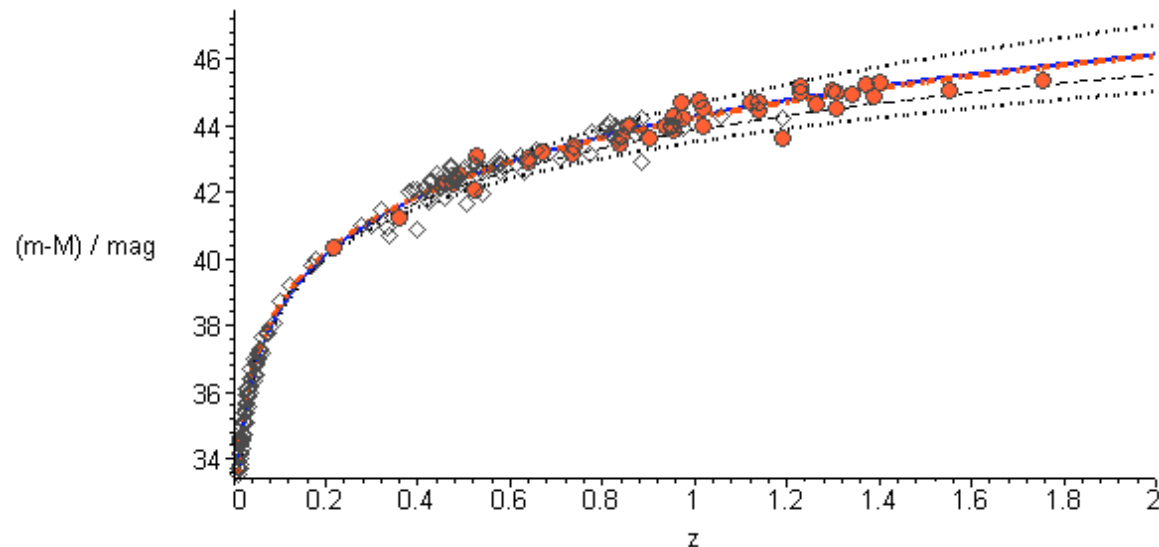


Abb. 3: Die nicht-blauen Kurven der Abb. 1 sind hier um $\Delta m \approx 0.2^m$ vertikal zur CCM-Linie hin verschoben. Dadurch wird die blaue CCM-Linie von der nun rot-gestrichelten SU-Linie nahezu überdeckt. Eine solche Verschiebung entspräche nach (13) einer Reduktion der HUBBLE-Konstanten um ca. 9%.

Die physikalische Bedeutung einer solchen Verschiebung ist sehr einfach. Aus (13) ist ersichtlich, daß die Werte der Entfernungsmodule $m-M$ unter anderem abhängig sind von H (s.a. [1]).

Läßt man in der Beziehung (13) bis auf die Größen m und H alle übrigen Werte ungeändert, dann bedeutet eine *Zunahme* des Entfernungsmoduls um $\Delta m \approx 0.2^m$ nichts anderes als eine *Reduktion* der HUBBLE-Konstanten um ca. 9%. Dies entspricht einer Veränderung um etwa -6 km/s/Mpc, was z.B. einen Übergang von 65 km/s/Mpc auf 59 km/s/Mpc bedeuten würde. Ob aber die Meßdaten in Richtung der roten SU-Linie verschoben werden oder umgekehrt: entscheidend ist, daß sich aus dem Modell eines stationären Hintergrunduniversums für hinreichend große Entfernungen - d.h. im bisherigen 'High-Redshift'-Bereich $0.1 < z < 1.7$ - eine weitgehende numerische Übereinstimmung gewissermaßen von selbst ergibt, wie Abb. 4 beweist.

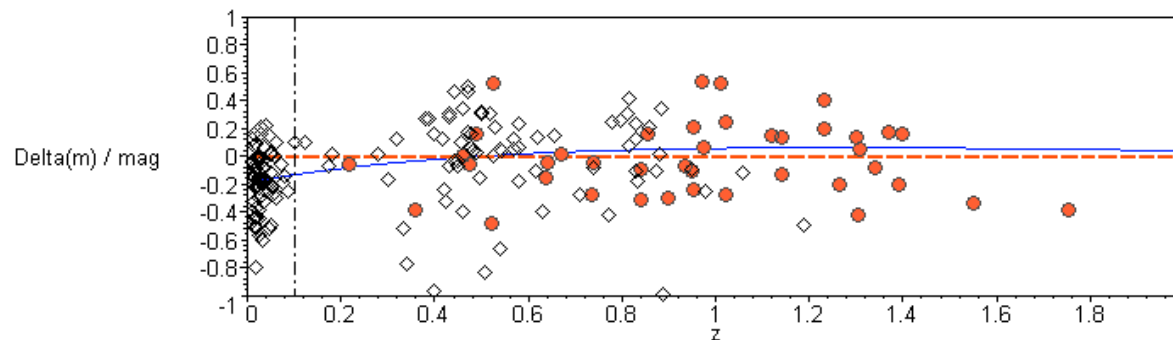


Abb. 4: Der SNe-Ia-Datensatz relativ zur theoretischen Vorhersage des stationären Modells ohne Berücksichtigung 'grauer' Absorption oder lokaler Inhomogenitäten.

Die rot gestrichelte SU-Linie repräsentiert im 'High-Redshift'-Bereich $0.1 < z < 1.7$ (der alle HST-entdeckten SNe Ia enthält) die Meßdaten offensichtlich ebenso gut wie die blaue CCM-Linie.

In der vorausgegangenen Abb. 3 scheint die verschobene, und deshalb *gestrichelt* gezeichnete rote SU-Linie mit der blauen CCM-Linie zusammenzufallen. Doch wie hier in Abb. 4 zu sehen ist, machen sich die ursprünglich im oberen z -Bereich aufgetretenen Unterschiede um $\Delta m \approx 0.2^m$ nun im Bereich $0.01 < z < 0.1$ bemerkbar. Was kann das bedeuten?

Daß die gute Übereinstimmung zunächst auf den Bereich größerer Rotverschiebungen $z > 0.1$ eingeschränkt scheint, steht ganz in Einklang mit der erklärten Absicht, daß das stationäre Linienelement das Universum (nur) auf hinreichend großen Skalen beschreiben soll. Es ist bemerkenswert, daß dieser Bereich alle HST-entdeckten SNe Ia enthält. Die Abweichungen von der stationären Lösung im Bereich $z < 0.1$ aber könnten als Hinweis auf lokale Inhomogenitäten zu verstehen sein.

IX.a) Erwägung eines 'lokalen' HUBBLE-Kontrasts

Unabhängig von physikalischen Voraussetzungen und Implikationen wird in Abb. 5 als Ergebnis einer numerischen Betrachtung gezeigt, daß eine fiktive Rotverschiebungs-Korrektur um ein mittleres konstantes $\delta z = -0.0018$ - deren Ursache innerhalb eines lokalen Bereichs von $z < 0.01$ liegen könnte - genügen würde, um zusammen mit einer vertikalen Verschiebung $\Delta m \approx 0.2^m$ die SNe-Ia-Daten über den gesamten bisher erfaßten Rotverschiebungsbereich zu beschreiben.

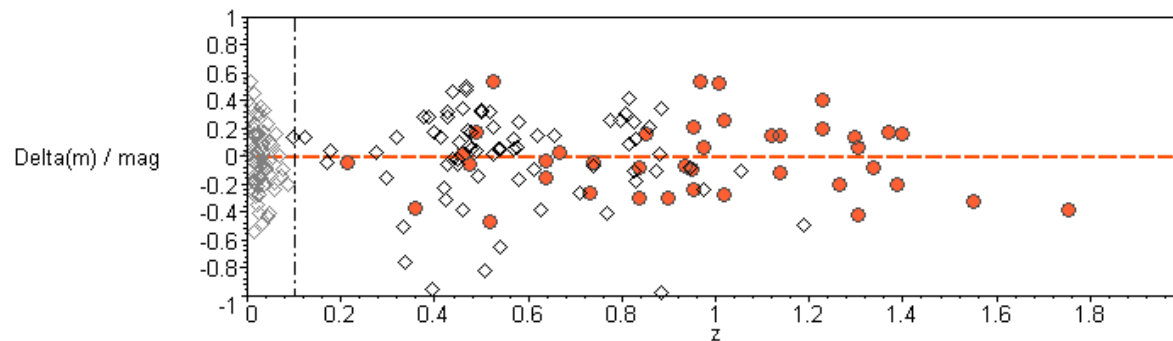


Abb. 5: Die SNe-Ia-Daten nach einer versuchsweisen Korrektur um $\delta z \approx -0.0018$, deren zunächst unbekannte Ursache dabei vollständig innerhalb $z < 0.01$ liegen könnte.

Die in Abb. 5 aufgezeigte Möglichkeit, eine numerische Übereinstimmung mit den SNe-Ia-Daten zu erreichen, entspricht im Rückblick auf Abb. 1 der folgenden Vorgehensweise: Zuerst wird die rote SU-Linie *vertikal* auf die blaue CCM-Linie nach oben verschoben. Die dadurch bei niedrigen z -Werten entstehenden - in Abb. 3 'unsichtbaren' - Differenzen werden kompensiert, indem die Supernova-Symbole anschließend um den geringen Betrag $\delta z \approx -0.0018$ *horizontal* nach links verschoben werden, wobei sie im Mittel für kleine z auf der neuen SU-Linie landen und für große z auf dieser verbleiben.

Der Wert der vertikalen Verschiebung ist hier ohne Belang, weil die Absolutwerte von M nicht präzise bekannt sind. Anders verhält es sich mit dem Wert der in Abb. 5 benutzten horizontalen Verschiebung $\delta z \approx -0.0018$, die - wenn ihre Ursache innerhalb eines Bereichs von $z_{\text{Rand}} \leq 0.01$ liegen sollte - einen grob geschätzten HUBBLE-Kontrast von $\delta H/H \equiv (H_{\text{lokal}} - H_{\text{universal}}) / H_{\text{universal}} \approx -\delta z / z_{\text{Rand}} \approx 18\%$ implizieren würde.

Das ist verblüffend, weil dieser Wert der Situation entspräche, daß eine lokale HUBBLE-'Konstante' in unserer kosmischen Nachbarschaft etwa 72 km/s/Mpc betragen könnte, die universale dagegen nur 59 km/s/Mpc, was beides gerade die Bandbreite der - jeweils sorgfältig ermittelten - Meßwerte der HUBBLE-Konstanten ausmacht. Sollte es sich dabei um einen bloßen Zufall handeln?

Die der Abb. 5 ansatzweise zugrundegelegte Annahme eines entsprechenden HUBBLE-Kontrasts ist in Abb. 6 noch einmal auf andere Weise - ebenfalls in grober Vereinfachung - dargestellt. Die Steigung der blau schraffierten Linie repräsentiert die *lokale*, die der rot gestrichelten die *universale* HUBBLE-Konstante. Alle in [1], [2] beobachteten Supernovae Ia wären in etwa auf der blau durchgezogenen Linie angesiedelt.

Ob sich die Dinge wirklich im Sinne der hier aufgezeigten Deutungsmöglichkeit verhalten, kann nur die weitere Beobachtung lehren. Doch ist es auf jeden Fall interessant zu sehen, daß bereits kleine Eigentümlichkeiten unserer kosmischen Nachbarschaft genügen würden, um die SNe-Ia-Daten in nahezu perfekte Übereinstimmung mit dem stationären Modell zu bringen. Es scheint deshalb angebracht, dieser Frage nachzugehen - und sei es nur, um einen signifikanten lokalen HUBBLE-Kontrast gegebenenfalls auszuschließen.

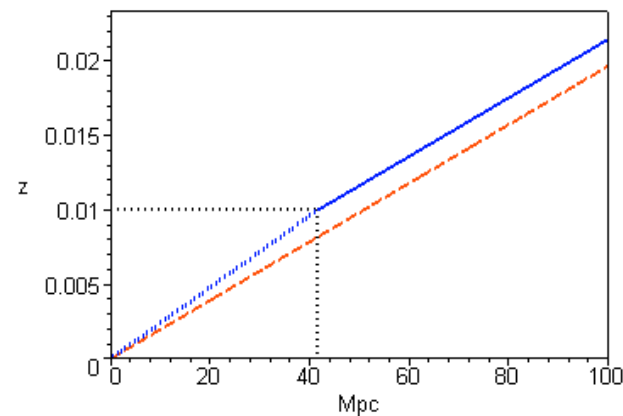


Abb. 6: Zur groben Veranschaulichung eines hypothetischen HUBBLE-Kontrasts von $\delta H/H \approx 18\%$, der mit $H_{\text{lokal}} = 72 \text{ km/s/Mpc}$ und $H_{\text{universal}} = 59 \text{ km/s/Mpc}$ zwei zuvor konkurrierenden Meßwerten entsprechen würde.

Umgekehrt folgt aus der obigen Betrachtung, daß der Absolutwert eines derartigen lokalen HUBBLE-Kontrasts nicht größer sein dürfte als etwa 5%, wenn das CCM richtig ist.

IX.b) Erwägung einer intergalaktischen Absorption durch 'grauen' Staub

Ebenso ergibt sich aus Abb. 7.a, daß der Absorptionskoeffizient eines intergalaktisch verteilten 'grauen' Staubs nicht größer sein sollte als etwa $\lambda_{\text{Absorption}} = 1/(4 R_H)$, weil auch bei einer solchen Absorption die SNe-Ia-Daten – selbst ohne räumliche Inhomogenitäten – in ungefähre Übereinstimmung mit dem stationären Modell kämen. Die grüne Basislinie repräsentiert hier die Vorhersage des stationären Modells nach Korrektur im Sinne eines wie üblich exponentiellen Absorptionsverlaufs.

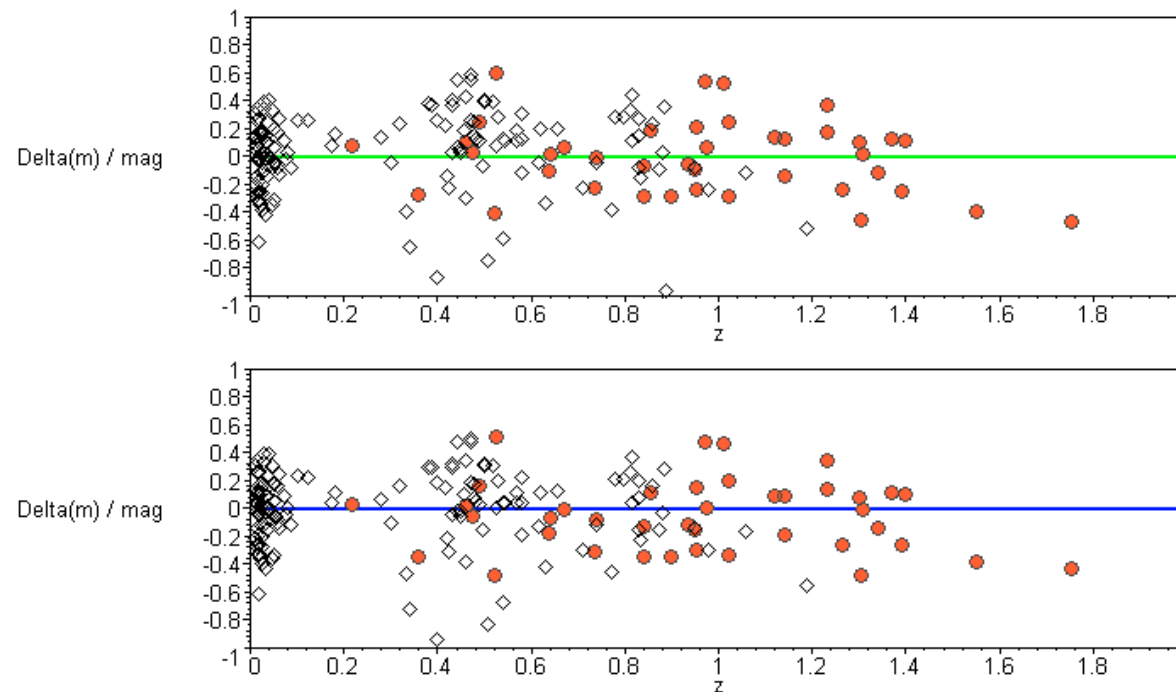


Abb. 7: a) Die obere Darstellung bezieht sich auf die Möglichkeit einer intergalaktischen Absorption durch nichtverfärbenden 'grauen' Staub mit einem Schwächungskoeffizienten $\lambda_{\text{Absorption}} = 1/(4 R_H)$.
b) Die untere Darstellung zeigt die Differenzen der Meßwerte gegen den CCM-Entfernungsmodul.

Die offensichtlich asymmetrische Streuung der Meßwerte gibt m. E. einen klaren Hinweis darauf, daß die Möglichkeit großräumiger Inhomogenitäten und Anisotropien durchaus in Betracht zu ziehen ist.

X) Zusammenfassung

Der Rückschluß aus den SNe-Ia-Daten auf ein 'beschleunigt expandierendes Universum', d.h. auf eine kosmologische Konstante Λ , kann meines Erachtens (noch) nicht als physikalisch gesichert betrachtet werden, da er - wie hier gezeigt - beispielsweise abhängig ist von der bisher unbewiesenen Voraussetzung $-0.0018 \ll \delta z$ innerhalb unserer 'lokalen' Umgebung $z \leq 0.01$.

Dementsprechend läßt sich derzeit also entweder $H_0 := H_{\text{lokal}}$ voraussetzen und dann aus den SNe-Ia-Daten auf abwechselnde Beschleunigungs- und Bremsphasen des *Universums* schließen. Oder aber aus dem 'High-Redshift'-Bereich der SNe-Ia-Daten ist der Wert $H_{\text{universal}}$ zu entnehmen und dann - in grober Näherung - z.B. die Möglichkeit eines mittleren konstanten $\delta z \approx -0.0018$, d.h. einen Kontrast $\delta H/H \approx 18\%$ innerhalb unserer 'lokalen' Umgebung $z \leq 0.01$ zu erwägen.

Überraschenderweise weist das einfachste aller denkbaren relativistischen Modelle wesentliche Züge auf (z.B. Krümmungsradius Null, $H_0 T_0 \approx 1$), die im theoretischen Rahmen des gegenwärtigen Konkordanz/Konsensus-Modells nur spekulativ erreicht werden konnten (z.B. 'superluminal inflation').

Tatsächlich lassen sich die unerwarteten kosmologischen Beobachtungstatsachen der vergangenen Jahre zumindest *näherungsweise* als ein - aus Sicht des stationären Modells selbstverständliches - doppeltes Null-Resultat zusammenfassen: $k \approx 0$, $q \approx 0$. Dabei steht k für den 'Krümmungs'-Parameter des dreidimensionalen Raums und q für den 'Decelerations'-Parameter (s. III), der ursprünglich die Abbremsung - heute umgekehrt die Beschleunigung - der kosmischen Expansion beschreiben sollte.

Mit Blick auf die SNe-Ia-Daten bleibt offenbar nur das *Cosmological Concordance Model (CCM)* oder eben das *stationäre Universum (SU)* - wenn nicht am Ende vielleicht beides?

Eine denkbare Lösung aller Rätsel der gegenwärtigen Kosmologie könnte in der Unterscheidung von *Kosmos* und *Universum* liegen. Gerade das stationäre Linienelement bietet die prinzipielle Möglichkeit (s. VII), am CCM als der Beschreibung unseres Kosmos festzuhalten, ohne jedoch dem Universum all die befremdlichen Zufälligkeiten zuschreiben zu müssen, die unter das Stichwort 'Koinzidenzprobleme' fallen.

Das wohl seltsamste von allen betrifft die derzeitige Übereinstimmung der 'HUBBLE-Zeit' $1/H_0$ mit dem 'Alter des Universums' T_0 (s. VIII). Mag sich ein solcher Zufall auch aus einem *anthrop(olog)ischen Prinzip* begründen lassen, so schiene es im Sinne des oben gesagten doch eher vernünftig, dieses auf unseren 'lokalen' Kosmos anzuwenden, nicht aber auf ein *unermeßliches* Universum insgesamt.

Nachdem gemäß (20), (21) die Lebensdauer von Sternen, Galaxien, Nebelhaufen begrenzt sind, sollte es im Hinblick auf die hier vorausgesetzte Stationarität des Universums von Zeit zu Zeit eine Neubildung lokaler Strukturen geben – wieder und wieder – was allerdings den Entropie-Satz zu verletzen scheint:

In einem nach Voraussetzung stationären Universum ist das Auftreten aller materiellen Komponenten dadurch determiniert, daß diese im Einklang mit den Gesetzen der Quantenmechanik in originären Prozessen wiederhergestellt werden, nachdem sie zuvor in den dafür verantwortlichen Gravitationszentren extremer Stärke verschwunden sind.

Dies bedeutet, daß die materiellen Komponenten eines stationären Universums annähernd in den gleichen Proportionen existieren müßten, wie sie zuerst aus dem 'Big-Bang'-Modell berechnet worden sind.

Erklärte Absicht dieser Arbeit war es nicht, definitive Erkenntnisse über zweifellos vorhandene Inhomogenitäten unserer kosmischen Umgebung zu gewinnen oder auch eine schwache intergalaktische Absorption nachzuweisen. Es sollte hier vor allem die grundsätzliche Möglichkeit aufgezeigt werden, auf Basis des stationären Modells aus kosmologischen Beobachtungsdaten 'lokale' Rückschlüsse zu ziehen.

box@peter-ostermann.de

Die Ableitung aller Formeln sowie ausführlichere Folgerungen und Begründungen können den Arbeiten [6], [7] oder auch dem pdf-File " Skizze einer offenen Theorie von Elektrodynamik, Gravitation, Quantenmechanik" entnommen werden, das sich von der obenstehenden Website des Verf. herunterladen läßt.

In dem letztgenannten e-print findet sich auch die – hier in Anlehnung an Landau-Lifschitz stillschweigend verwendete – detaillierte Notation.

Literatur

-
- [1] RIESS A. G., et al.: TYPE Ia SUPERNOVA DISCOVERIES AT $z > 1$ FROM THE HUBBLE SPACE TELESCOPE ... , ApJ **607** (2004) 665-687;
 - [2] RIESS A. G., et al.: New Hubble Space Telescope Discoveries of Type Ia Supernovae at $z \geq 1$... , astro-ph/0611572 v2 (2006) 1-82
 - [3] KOLB E. W., A COASTING COSMOLOGY, ApJ **344** (1989) 543-550 [der 'Decelerations'-Parameter $q = 0$ wurde hier im Sinne einer *gleitenden Expansion* des Universums interpretiert. Die Forderung einer fehlenden räumlichen 'Krümmung' oder " $c^* = c$ " wurde nicht erhoben, die in [6] abgeleiteten zeitunabhängigen Werte von z wurden nicht erwähnt].
 - [4] BONDI W. H., GOLD T.: *The Steady-State Theory of the Expanding Universe*, M. Not. R. Astr. Soc. **108** (1948) 252-270
 - [5] HOYLE F.: *A New Model for the Expanding Universe*, M. Not. R. Astr. Soc. **108** (1948) 372-382; **109** (1949) 365-371
 - [6] OSTERMANN P.: Ein stationäres Universum und die Grundlagen der Relativitätstheorie; physics/0211054 (2002/03) 1-44
 - [7] OSTERMANN P.: The Concordance Model - a Heuristic Approach from a Stationary Universe; astro-ph/0312655 (2003) 1-6
 - [8] BENNETT C. L., et al., Astrophys.J.Suppl. **148** (2003) 1
 - [9] RIESS A. G., et al., Astron.J. **116** (1998) 1009-1038
 - [10] PERLMUTTER S., et al., Bull.Am.Astron.Soc. **29** (1997) 1351, astro-ph/9812473; ApJ. **517** (1999) 565-586